V. TABĂRĂ
I. GHEGHEA
GH. OBACIU
G. BOERIU

ACŢIONAREA ELECTRICĂ A MAŞINILOR-UNELTE

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
BUCUREŞTI — 1980

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Prof. dr. ing.
VICTOR TABĂRĂ

Conf. dr. ing.
GHEORGHE OBACIU

Prof. dr. ing.
ION GHEGHEA

Asistent ing.
GHEORGHE BOERIU

ACȚIONAREA ELECTRICĂ A MAȘINILOR-UNELTE

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI

Control științific: șef lucr. dr. ing. DORIN ALEXANDRU
Institutul politehnic București

Redactor: V. MARINOIU
Tehnoredactor: ELENA PETRICĂ
Coperta: NICOLAE SÎRBU

PREFAŢĂ

Lucrarea elaborată tratează problemele de bază referitoare la acţionarea electrică şi schemele de comandă specifice maşinilor-unelte. În cuprins sînt prezentate iniţial principiile cinematice şi dinamice caracteristice diferitelor lanţuri cinematice care se regăsesc în structura ansamblului diferitelor tipuri de maşini-unelte. Luînd în considerare aceste caracteristici, în continuare se tratează principalele motoare şi sisteme electrice de acţionare folosite la maşinile-unelte, evidenţiindu-se particularităţile lor funcţionale şi domeniile de utilizare. Avînd în vedere diferitele regimuri de lucru specifice diverselor maşini-unelte, se analizează atît criteriile care stau la baza determinării puterii necesare motoarelor folosite la acţionarea lanţurilor cinematice ale maşinilor unelte cît şi cele care determină alegerea sistemelor de reglare electrică şi electromecanică a turaţiilor.

În partea a doua a lucrării se tratează principiile care stau la baza elaborării schemelor de acţionare şi comandă şi se prezintă o gamă de scheme electrice de principiu, întîlnite la principalele tipuri de maşini-unelte. Se menţionează faptul că pentru a se putea urmări analiza şi însuşi proiectarea schemelor se prezintă aparatajul folosit în acestea, evidenţiindu-se principiile funcţionale, domeniul de utilizare şi simbolurile folosite în reprezentarea lor, conform normelor.

În finalul lucrării se prezintă principalele măsuri de tehnica securităţii referitoare la instalaţiile electrice ale maşinilor-unelte.

Lucrarea se adresează cu precădere studenţilor din anii IV şi V de la facultăţile Tehnologia construcţiei de maşini şi Mecanică, specialitatea maşini-unelte şi scule, precum şi inginerilor specializaţi în acest domeniu. Prin conţinutul său, lucrarea oferă posibilitatea stabilirii raţionale a sistemelor de acţionare şi comandă electrică a maşinilor-unelte, fiind necesară atît în proiectarea cît şi în exploatarea raţională a acestora.

Colectivul de autori

CUPRINSUL

Prefață 3

Introducere 9

1. Condiții cinematice și dinamice în acționarea mașinilor-unelte 11
   1.1. Condiții cinematice pentru acționarea mașinilor-unelte 11
   1.2. Alegerea numărului de motoare necesare pentru acționarea mașinilor-unelte .. 14
   1.3. Condiții dinamice în acționarea mașinilor-unelte. 20
   1.4. Caracteristici de acționare specifice diferitelor tipuri de lanțuri cinematice 21
   1.5. Caracteristica de acționare a sistemelor hidrostatice folosite la mașinile-unelte .. 23
2. Motoare electrice folosite în acționarea mașinilor-unelte 25
   2.1. Motoare asincrone 25
      2.1.1. Caracteristica mecanică 25
      2.1.2. Pornirea și inversarea sensului de rotație la motoarele asincrone 29
      2.1.3. Reglarea turației motoarelor asincrone 36
   2.2. Motoare de curent continuu 39
      2.2.1. Caracteristica mecanică 39
      2.2.2. Pornirea și inversarea de sens a motoarelor de curent continuu 42
      2.2.3. Reglarea turației motoarelor de curent continuu 44
   2.3. Motoare electrice cu întrefier axial (AXEM) 46
   2.4. Motoare electrice pas cu pas 48
3. Mașini electrice speciale utilizate în acționarea mașinilor-unelte 51
   3.1. Motoare de curent alternativ cu colector 51
      3.1.1. Motoare de curent alternativ monofazate cu colector 52
      3.1.2. Motoare trifazate cu colector cu alimentare în rotor 53
      3.1.3. Motorul trifazat cu colector cu alimentare în stator 58
   3.2. Utilizarea grupului generator-motor 59
   3.3. Arborele electric 67
      3.3.1. Sincronizarea arborelui electric 67
      3.3.2. Utilizarea arborelui electric 68
   3.4. Motorul asincron liniar 70
   3.5. Mașina amplificatoare rotativă cu cîmp transversal (amplidina) 72
   3.6. Rototrolul 75
4. Sisteme de reglare a turației 76
   4.1. Amplificatoarele magnetice și utilizarea lor la reglarea turației motoarelor 76

4.2. Utilizarea redresoarelor comandate pentru reglarea turației motoarelor de curent continuu 80
4.2.1. Redresoare cu tiratroane 80
4.2.2. Redresoare cu tiristoare 83
4.3. Reglarea electromecanică a turațiilor la mașinile-unelte 92
4.3.1. Reglarea continuă a turațiilor arborelui principal folosind sisteme electromecanice 93
4.3.2. Reglarea electromecanică folosind motoare asincrone cu mai multe trepte de turații 95
4.3.3. Elaborarea rețelelor structurale pentru sisteme electromecanice de reglare continuă a turațiilor 97
4.3.4. Reglarea electromecanică în trepte, în cazul acționării cu motoare de curent continuu cu turație reglabilă 100
5. Regimuri tranzitorii în acționarea electrică a mașinilor-unelte 107
5.1. Ecuația de mișcare a ansamblului motor-lanț cinematic 108
5.2. Durata regimurilor tranzitorii la pornirea și reglarea sistemelor cinematice ale mașinilor-unelte 110
5.3. Regimuri tranzitorii la frînare 113
5.4. Regimuri tranzitorii în acționarea preselor 114
6. Determinarea puterii motoarelor folosite în acționarea mașinilor-unelte 116
6.1. Influența pierderilor asupra încălzirii motoarelor 116
6.1.1. Influența pierderilor în regim de funcționare sub sarcină 116
6.1.2. Influența pierderilor în regim tranzitoriu 120
6.2. Caracteristici de încălzire a motoarelor electrice 124
6.3. Determinarea puterii motoarelor pe baza regimului termic 129
6.3.1. Stabilirea puterii necesare pentru regimul de funcționare de durată cu sarcină constantă 133
6.3.2. Calculul puterii motoarelor funcționînd în regim de durată cu sarcină variabilă 134
6.3.3. Calculul motoarelor funcționînd în regim intermitent 141
6.3.4. Calculul puterii motoarelor folosite în regim de scurtă durată 144
6.4. Randamentul mașinilor-unelte 146
7. Electromagneți, cuplaje și dispozitive de prindere electromagnetice folosite la mașinile-unelte 150
7.1. Generalități 150
7.2. Electromagneți de curent alternativ și continuu 150
7.2.1. Electromagneți de curent alternativ 151
7.2.2. Electromagneți de curent continuu și cuplaje electromagnetice 153
7.3. Dispozitive electromagnetice de prindere 156
8. Aparatajul electric al mașinilor-unelte 158
8.1. Generalități. Clasificare 158
8.2. Caracteristicile electromecanice nominale și de serviciu. Tipuri de protecții 159
8.3. Aparate pentru conectare și comandă 161
8.3.1. Aparate de comandă acționate manual 161
8.3.1.1. Separatoare 163
8.3.1.2. Întreruptoare cu pîrghie 164
8.3.1.3. Întreruptoare și comutatoare pachet 165
8.3.1.4. Comutatoare cu came 167
8.3.1.5. Comutatoare stea-triunghi 168
8.3.1.6. Inversoare de sens 169
8.3.1.7. Butoane de comandă 170

8.3.1.8. Chei de comandă 170
8.3.1.9. Manipulatoare ... 171
8.3.1.10. Prize și fișe ... 172
8.3.2. Aparate de comandă de la distanță ... 172
8.3.2.1. Contactoare și ruptoare ... 173
8.3.2.2. Contactoare de comandă ... 179
8.3.2.3. Relee intermediare ... 180
8.3.2.4. Relee intermediare pentru automatizări 180
8.3.3. Aparate pentru automatizări ... 181
8.3.3.1. Microîntreruptoare ... 182
8.3.3.2. Limitatoare de cursă 182
8.3.3.3. Relee de timp ... 184
8.4. Aparate pentru pornire și reglaj 188
8.5. Aparate pentru protecție ... 189
8.5.1. Siguranțe fuzibile ... 189
8.5.2. Relee termice și electromagnetice 192
8.6. Sisteme de semnalizare ... 194
9. Principii pentru întocmirea schemelor electrice și electronice pentru comanda mașinilor-unelte ... 195
9.1. Semne convenționale utilizate în schemele electrice și electronice ... 195
9.2. Reprezentarea schemelor electrice și electronice 202
9.3. Condițiile impuse sistemelor de comandă 203
9.3.1. Simplitatea comenzii 203
9.3.2. Siguranța comenzii ... 204
9.3.3. Flexibilitatea sistemului și comoditatea comenzii ... 204
9.3.4. Controlul integrității sistemului și comoditatea determinării defectelor 205
9.3.5. Precizia de funcționare a sistemelor în cazul regimului de funcționare normală și de avarie ... 205
9.3.6. Utilizarea judicioasă a aparatajului în sistemele de comandă ... 206
9.3.7. Comoditatea montării, exploatării și reparării sistemelor de comandă ... 206
9.3.8. Gabarite și suprafețe minime de deservire la un cost redus al instalației 207
9.4. Întocmirea ciclogramei de funcționare pentru mașina-unealtă 207
9.5. Întocmirea schemei electrice desfășurate ... 208
9.5.1. Notații utilizate în schemele electrice ... 208
9.5.2. Alimentarea circuitelor de comandă ... 209
9.5.3. Proiectarea circuitelor de comandă ... 210
9.5.4. Protecția elementelor de acționare și a circuitelor electrice sau electronice 215
9.5.5. Elemente de semnalizare în instalațiile electrice și electronice ... 218
9.5.6. Completarea schemei cu elemente de întrerupere generală ... 219
9.5.7. Notarea în schemă a porțiunilor de circuite care se leagă la clemele de șir 221
9.5.8. Verificarea schemei electrice desfășurate ... 222
9.6. Scheme pentru comanda motoarelor asincrone ... 222
9.6.1. Scheme pentru pornirea și reversarea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit ... 222
9.6.2. Scheme pentru pornirea și comanda motoarelor asincrone cu rotorul bobinat ... 226
9.6.3. Scheme pentru comanda motoarelor cu două turații ... 228
9.6.4. Scheme pentru comanda frînării motoarelor de curent alternativ ... 230
9.7. Scheme pentru comanda motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație 232
9.7.1. Scheme pentru pornirea și inversarea sensului de rotație ... 232

9.7.2. Scheme pentru comanda frînării motoarelor de curent continuu 235
9.8. Scheme de comandă în funcție de spațiul parcurs 236
9.9. Comanda în funcție de timp 239
9.10. Comanda în funcție de sarcină 239
10. Copierea electrică 241
11. Schemele circuitelor de acționare și comandă electrică ale principalelor tipuri de mașini-unelte 250
11.1. Cerințele de bază ale acționării electrice a mașinilor-unelte 250
11.2. Strunguri paralele universale 251
11.2.1. Strungul S3 252
11.2.2. Strungul SNA 360 253
11.3. Mașini de găurit 255
11.4. Mașini de frezat 257
11.4.1. Mașina de frezat FUS 257
11.4.2. Mașina de frezat FU-1 258
11.5. Mașini de broșat 261
11.6. Mașini pentru prelucrări prin deformare 262
11.7. Mașini de copiat 265
11.7.1. Mașini de copiat electrice 265
11.7.2. Mașini de copiat electronice 268
11.8. Instalația electrică a mașinilor agregate și a liniilor automate 270
11.8.1. Elemente de acționare 270
11.8.2. Prescripții generale referitoare la proiectarea instalațiilor electrice ale mașinilor agregate și liniilor automate 270
11.8.2.1. Mișcarea principală (de așchiere) 271
11.8.2.2. Comanda avansurilor 271
11.8.2.3. Realizarea ciclului automat de lucru al unității prelucrătoare 271
11.8.2.4. Tipurile de comandă pentru acționările hidraulice 272
11.8.2.5. Acționarea distribuitoarelor hidraulice și pneumatice 273
11.8.2.6. Principii specifice pentru întocmirea schemelor instalațiilor mașinilor agregate și liniilor automate 275
11.8.2.7. Exemple de scheme electrice de acționare ale unor unități de lucru 276
11.9. Mașini pentru procedee noi de prelucrare 284
11.9.1. Mașini pentru prelucrări prin electroeroziune 284
11.9.1.1. Generatoare dependente (de relaxare) 284
11.9.1.2. Generatoare independente ale unor mașini utilizate în producție 285
11.9.2. Mașini pentru prelucrarea electrochimică 289
11.9.3. Mașini prentru prelucrarea anodomecanică 290
11.9.4. Mașini pentru prelucrarea cu ultrasunete 291
12. Măsuri de protecția împotriva electrocutării 293
12.1. Accidente produse de curentul electric 293
12.1.1. Efecte ale trecerii curentului electric prin corpul omenesc 293
12.1.2. Factori care influențează gravitatea accidentului 294
12.1.3. Tensiuni de pas și de contact. Atingeri accidentale 295
12.2. Măsuri de protecție pentru evitarea electrocutărilor 298
12.3. Electricitatea statică 301
12.4. Iluminatul mașinilor-unelte 301
Bibliografie 303

INTRODUCERE

În condițiile progresului tehnic, toate componentele integrate în mașinile-unelte trebuie să asigure modernizarea complexă a acestora, astfel ca ele să răspundă în cel mai înalt grad nevoilor actuale ale industriei.

Corespunzător Programului-directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și de introducere a progresului tehnic în perioada 1980—1990 și direcțiile principale de dezvoltare pînă în anul 2000, cercetarea științifică și dezvoltarea tehnologică trebuie să asigure dezvoltarea accentuată a ramurilor care creează produse de valoare economică ridicată, cu consumuri de materiale și energetice reduse.

Industria constructoare de mașini este orientată spre crearea de noi tipuri de mașini-unelte, de mare productivitate, cu viteze de lucru sporite și de înaltă precizie prevăzute cu comandă numerică și schimbare automată a sculelor, mașini-unelte multifuncționale și agregate cu un înalt grad de automatizare. Ca urmare, problemele de acționare specifice diferitelor lanțuri cinematice din structura mașinilor-unelte vor trebui să se situeze pe un prim plan pentru a crea condiții corespunzătoare funcționării lor automate și cu performanțe maxime de calitate și productivitate.

Importanța acestor probleme rezidă din faptul că în mare parte, performanțele ce se cer a fi realizate sînt determinate nemijlocit de caracteristicile sistemelor de acționare electrică a lanțurilor cinematice din structura mașinilor-unelte precum și de ale elementelor de comandă.

Merită relevat faptul că precizia de prelucrare este determinată în mare măsură de menținerea caracteristicilor regimurilor de așchiere tehnologic impuse, de posibilitatea de realizare a legilor de mișcare prin care se asigură forma și dimensiunile pieselor prelucrate, de stabilitatea și rigiditatea sistemelor mașină-unealtă-sculă-piesă.

În menținerea parametrilor procesului de așchiere la valorile prestabilite prin procesul tehnologic, o influență de prim ordin o are sistemul de acționare și comandă electrică, deoarece, caracteristicile de funcționare ale acestora determină mărimea de intrare pe care un anumit lanț cinematic îl transmite, printr-un raport de transfer determinat, la organul de lucru. Totodată, în construcția mașinilor-unelte moderne se manifestă pregnant tendința de simplificare a ansamblului cinematic prin utilizarea pe scară din ce în ce

mai largă a posibilităților de reglare electrică și electromecanică a turațiilor, fapt care asigură avantaje tehnico-economice deosebite atît în producerea cît și în exploatarea mașinilor-unelte. Posibilitățile de variație într-un domeniu larg a turațiilor folosind reglarea electromecanică oferă condiții favorabile automatizării complexe și conferă avantaje pentru realizarea diferitelor legi de mișcare impuse în principal de realizarea unor piese cu forme complicate. Faptul că introducerea comenzii numerice permite transmiterea informațiilor referitoare la funcționarea mașinilor-unelte în timpul prelucrării folosind programe de lucru exprimate sub forme diferite, inclusiv relații matematice, face ca ansamblul sistemului de acționare și comandă electrică să se situeze pe un prim plan în proiectarea și exploatarea acestor mașini.

Sistemele de acționare și comandă electrică vor corespunde scopului dacă acestea sînt astfel stabilite încît să satisfacă particularitățile funcționale specifice diferitelor tipuri de mașini-unelte. În același timp se impune ca aceste sisteme să ia în considerare caracteristicile generării suprafețelor prin așchiere folosind diverse procedee de prelucrare.

Prin urmare, stabilirea sistemelor de acționare și comandă este necesar să se facă pe baza cunoașterii temeinice a ansamblului cinematic al mașinii, a relațiilor dintre diferitele mișcări ale organelor de lucru precum și a valorilor impuse mișcărilor de generare și auxiliare. În acest scop proiectarea mașinilor-unelte este indisolubil legată de analiza posibilităților de acționare și comandă astfel încît acestea să realizeze performanțele maxime în condiții tehnico-economice optime.

Ca atare, specialiștii din domeniul proiectării și exploatării mașinilor-unelte trebuie să cunoască în profunzime atît problemele de construcție ale mașinilor cît și soluțiile posibile pentru acționarea și comanda lor electrică, astfel încît să satisfacă cerințele dezvoltării actuale ale științei și tehnicii.

1

CONDIȚII CINEMATICE ȘI DINAMICE ÎN ACȚIONAREA MAȘINILOR-UNELTE

1.1. CONDIȚII CINEMATICE PENTRU ACȚIONAREA MAȘINILOR-UNELTE

Structura cinematică a mașinilor-unelte conține un ansamblu de mecanisme incluse în lanțuri cinematice specifice, prin care se realizează mișcările de generare (principale și secundare) și cele auxiliare, care asigură forma și dimensiunile pieselor prelucrate.

Mișcările de generare sînt obținute prin lanțuri cinematice principale și de avans, de filetare, de rulare, de detalonare etc. și se caracterizează din punct de vedere tehnologic prin valori determinate de natura prelucrării, calitatea materialelor semifabricatelor și a sculelor folosite, calitatea suprafeței dorite etc. Ca urmare, în condiții date, tehnologia de prelucrare impune o anumită mărime de execuție y_E. Dacă se consideră un raport de transfer al lanțului cinematic principal i_T, este necesară o valoare a mișcării de acționare y_A care să satisfacă relația cunoscută

$$y_E = y_A \cdot i_T. \tag{1.1}$$

Dacă $y_E = \text{const}$, rezultă condiția $y_A \cdot i_T = \text{const}$, pentru care există soluțiile:

$$i_T = \text{const}; \; y_A = \text{const};$$

$$i_T \neq \text{const}; \; y_A \neq \text{const},$$

în care caz cele două mărimi vor avea o variație corespunzătoare unei hiperbole echilatere cu parametri determinați din condiția $y_A \cdot i_T = y_E = \text{const}$.

În construcția mașinilor-unelte, în general, pentru prelucrările la care se impune condiția $y_E = \text{const}$, se folosește soluția $i_T = \text{const}$ și prin urmare $y_A = \text{const}$. Rezultă prin urmare că pentru a realiza valoarea prescrisă tehnologic pentru un anumit regim de așchiere, se impune sistemului de acționare să asigure o mărime a mișcării de antrenare a lanțurilor cinematice principale riguros determinată și constantă în tot timpul lucrului.

Un exemplu la care se impune o asemenea condiție este redat în figura 1.1, corespunzător unei strunjiri cilindrice exterioare la care se disting următoarele mișcări:

— mișcarea *1*, de rotație a piesei (mișcarea principală);
— mișcarea *2*, de reglare a adîncimii de așchiere;
— mișcarea *3*, de avans (mișcare de generare);
— mișcarea *4*, de revenire a sculei în poziția inițială.

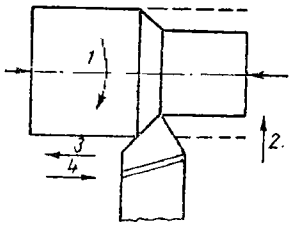


Fig. 1.1. Schema prelucrării prin strunjire.

Întrucît determinarea raporturilor de transfer ale lanțurilor cinematice sînt stabilite la elaborarea schemei cinematice, acestea trebuie corelate cu alegerea caracteristicilor sistemului de acționare. În acest scop se impune să se precizeze modul de acționare, tipul motoarelor care satisfac condițiile specifice fiecărui lanț cinematic în parte și prin urmare numărul de motoare prin precizarea lanțurilor cinematice cu acționare independentă.

În cazul în care mărimea de execuție $y_E \neq \neq$ const, se impune realizarea mișcării după o anumită lege. Ecuația de transfer

$$y_E = y_A \cdot i_T \tag{1.2}$$

duce la concluzia că realizarea legii de mișcare funcție de un anumit parametru al prelucrării poate fi obținută prin variația raportului de transfer i_T sau a valorii mișcării de acționare y_A, corespunzător legii specifice execuției y_E.

Practic, realizarea legii de variație corespunzător condițiilor de prelucrare, exprimată de valoarea y_E, este dificil de obținut prin variația raportului de transfer i_T datorită complexității soluțiilor constructive și cinematice pe care le implică. În cazul unor prelucrări grele, care presupun antrenarea în mișcare a unor mase mari și transmiterea unor forțe importante, realizarea unei variații a raportului de transfer i_T în concordanță cu legea de variație a mărimii mișcării necesare la execuție este practic irealizabilă. Ca urmare, în general, atunci cînd execuția implică o mărime variabilă a mișcării y_E funcție de variația unor parametri specifici prelucrării, este necesar să se asigure legea de mișcare dorită prin variația mișcării de acționare y_A.

O situație de acest gen apare de exemplu la prelucrarea unor suprafețe plane pe strungurile carusel, unde, pentru a se menține constantă viteza de așchiere tehnologic determinată pentru o durabilitate T prin relația

$$v_e = K \frac{Cv}{T^m \cdot s^{yv} \cdot t^{xv}},$$

este necesar să fie respectată condiția

$$n = \frac{1\,000 v_e}{\pi d_x}$$

din care pentru $v_e = \text{const}$ și $d_x \neq \text{const}$, rezultă că turația piesei va trebui să satisfacă legea de variație $n = \frac{k_v}{d_x}$, în care

$$k_v = \frac{1\,000 v_e}{\pi}$$

este constant, C_v, m, x_v și y_v fiind coeficienți respectiv exponenți, care depind de materialul de prelucrat, de natura prelucrării și de caracteristicile sculei, iar s și t avansul și adîncimea de lucru.

În consecință, în ecuația de transfer pentru cazul considerat, mărimea y_E, care reprezintă caracteristica de mișcare necesară execuției, va trebui să satisfacă egalitatea

$$y_E = n = \frac{k_v}{d_x}.$$

Prin urmare egalitatea

$$y_E = y_A \cdot i_T = k_v/d_x$$

va fi satisfăcută dacă este respectată condiția

$$y_A = \frac{k_v}{i_T \cdot d_x},$$

în care $i_T = \text{const}$.

Rezultă că legea de mișcare a sistemului de acționare trebuie să o satisfacă pe aceea determinată din condițiile tehnologice, care, pentru cazul considerat este o variație după o hiperbolă echilibrată. In mod similar se poate deduce legea de mișcare pentru viteza de avans care asigură menținerea constantă a avansului s, măsurat în mm/rot, și în consecință menținerea condițiilor de prelucrare stabilite inițial pentru a se realiza rugozitatea prescrisă suprafeței prelucrate.

Variația mișcării este necesară și în cazul unor prelucrări speciale, la care în timpul lucrului se impune variația vitezelor de avans pe diferite direcții, astfel încît viteza rezultantă să se mențină tangentă la direcția prescrisă. Astfel de situații se întîlnesc la prelucrările de copiere, conturare etc.

Pentru diferitele lanțuri cinematice din ansamblul cinematic al mașinii se are în vedere că acționarea lor se poate face de la diferite motoare sau manual. Lanțul cinematic principal este acționat în toate cazurile prin motoare, iar cele secundare și auxiliare pot fi acționate de la motor sau manual.

Între lanțurile cinematice de generare poate exista o relație de condiționare sau nu. Astfel, de exemplu, în cazurile la care pentru prelucrare avansul este determinat (măsurat) ca deplasare pe unitate de ciclu (la strunjire, găurire, filetare, alezare etc., la care avansul se determina în mm/rot) între mișcarea principală și de avans este necesară o legătură rigidă, care asigură între cele două lanțuri cinematice condiționarea dorită. In aceste cazuri cele două lanțuri cinematice vor avea o acționare unică (fig. 1.2) și ca atare se poate considera că mișcarea principală reprezintă o mărime a semnalului

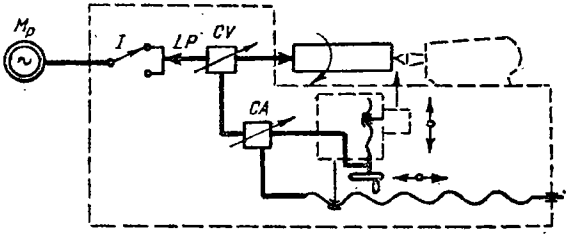


Fig. 1.2. Schema de acționare a lanțurilor cinematice de generare ale unui strung:
Mp — motor de acționare; *I* — mecanism de inversare a sensului de mișcare; *CV* — cutie de viteze; *CA* — cutie de avansuri; *LP* — lanț cinematic principal.

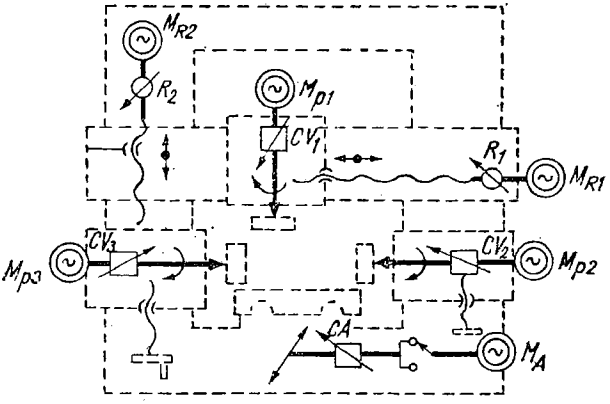


Fig. 1.3. Schema de acționare a lanțurilor cinematice de la o mașină de frezat longitudinal:

Mp_1, Mp_2, Mp_3 — motoare pentru acționarea lanțurilor cinematice principale ale capetelor de lucru; CV_1, CV_2, CV_3, — cutiile de viteze ale capetelor de lucru; M_A — motorul pentru acționarea lanțului cinematic de avans; CA — cutie de avansuri; I — mecanism de inversare; M_{R1}, M_{R2} — motoarele pentr-acționarea lanțurilor cinematice de reglare; R_1, R_2 — — reductoare.

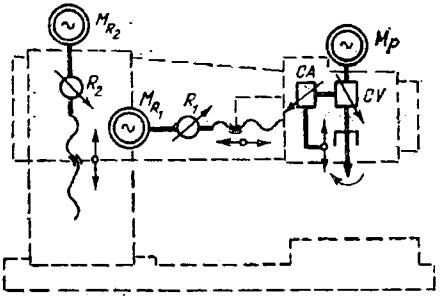


Fig. 1.4. Schema de acționare a lanțurilor cinematice de la o mașină radială de găurit:

Mp — motor principal (pentru acționarea lanțurilor cinematice de generare); CV — cutia de viteze; CA — cutia de avansuri; M_{R1}, M_{R2} — motoarele de acționare a mecanismelor din lanțurile cinematice de reglare; R_1, R_2 — reductoare.

de intrare pentru lanțul cinematic de avans. Acest mod de acționare asigură condiționarea celor două mișcări în raport determinat de mărimile tehnologice impuse pentru mișcările de lucru.

În cazul în care la prelucrare (de exemplu, frezare) între mișcările de lucru nu se impune o anumită condiționare cinematică, acționarea mișcării principale și de avans se poate face de la motoare diferite (fig. 1.3).

Mișcările auxiliare (de reglare) se realizează în majoritatea cazurilor prin motoare independente (fig. 1.4), care trebuie să asigure deplasarea în gol a unui subansamblu al mașinii-unelte (cărucior, traversă, masă etc.).

1.2. ALEGEREA NUMĂRULUI DE MOTOARE NECESARE PENTRU ACȚIONAREA MAȘINILOR-UNELTE

Numărul motoarelor folosite în acționarea lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte depinde de numărul și rolul funcțional al acestora, de legăturile de condiționare dintre diferite lanțuri cinematice și de influența modului de acționare asupra complexității acestora.

În cazul lanțurilor cinematice de generare complexe la care între mișcarea piesei și a sculei se impune o relație determinată prin corelarea a două sau trei mișcări, acționarea lanțurilor cinematice care realizează fiecare dintre aceste mișcări se face printr-un motor unic. Asemenea condiții se întîlnesc la execuția filetelor pe strung, la filetarea prin frezare, la execuția camelor, la generarea prin rulare a roților dințate, a arborilor canelați etc.

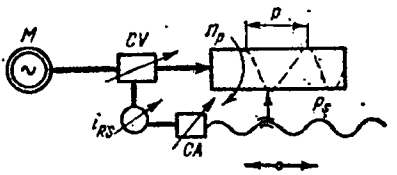


Fig. 1.5. Schema de acționare la filetarea pe strung:

M — motor electric; *CV* — cutie de viteze; i_{RS} — roți de schimb; *CA* — cutia de avansuri; n_p — turația piesei; *p* — pasul filetului de prelucrat; $p_ş$ = pasul șurubului conducător.

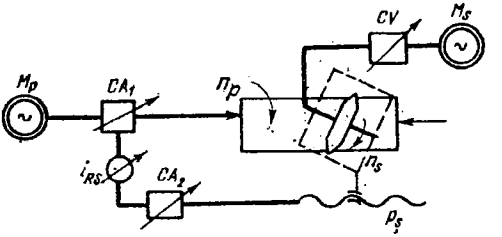


Fig. 1.6. Schema de acționare la filetarea prin frezare:

M_p — motor pentru acționarea mișcării presei; *CV* — cutie de viteze; M_s — motor pentru acționarea lanțurilor cinematice ale sculei C_{A1}, C_{A2} — cutii de avansuri; i_{RS} — roți de schimb; $p_ş$ — pasul șurubului conducător; n_p — turația piesei; n_s — turația sculei.

pentru care schemele de așchiere evidențiază mișcările care se impun a fi corelate.

La prelucrarea filetelor pe strung (fig. 1.5), deoarece la fiecare rotație a piesei scula trebuie să efectueze o deplasare determinată, egală cu pasul șurubului de executat, acționarea lanțului cinematic principal și de avans se impune a fi realizate de la același motor.

În cazul prelucrării filetelor cu o freză disc (fig. 1.6), lanțul cinematic principal va fi acționat de la un motor independent, dar lanțurile cinematice de avans axial și tangențial se impune a fi acționate printr-un singur motor, între cele două mișcări existînd o relație de determinare.

La prelucrarea filetelor cu o freză melc (fig. 1.7) ca și la executarea roților dințate prin rulare (fig. 1.8), lanțurile cinematice prin care se realizează mișcările de lucru trebuie acționate de la același motor pentru a se putea păstra relația strict determinată dintre ele.

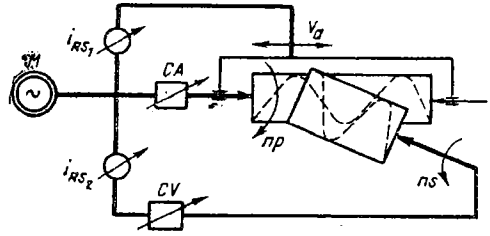


Fig. 1.7. Schema de acționare la filetarea cu freză melc:

M — motor de acționare; *CV* — cutia de viteze; *CA* — cutia de avansuri; i_{RS_1}, i_{RS_2} — mecanisme cu roți de schimb; n_p — turația piesei; n_s — turația sculei; v_a — viteza de avans.

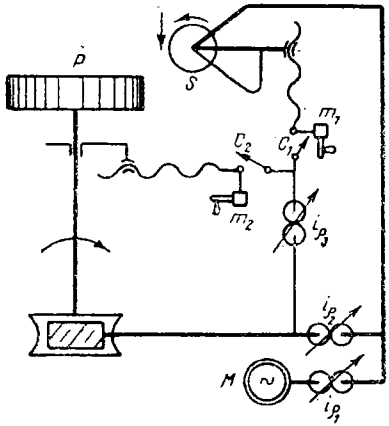


Fig. 1.8. Schema de acționare la prelucrarea roților dințate cu sculă melc:

M — motor de acționare; i_{p_1}, i_{p_2}, i_p — mecanisme cu roți de schimb; *S* — sculă; *P* — piesă; m_1, m_2 — manete de reglaj; C_1, C_2 — cuplaje.

Acționarea de la un singur motor a lanțurilor cinematice care realizează mișcările de lucru ale mașinilor-unelte (principală și de avans) este condiționată și de implicațiile pe care le determină modul de acționare asupra complexității acestora, deoarece în unele cazuri folosirea unor motoare independente duce la soluții constructive mai complicate, dimensiuni de gabarit mari, dificultăți în comanda și exploatarea mașinii. În categoria mașinilor la care separarea acționării lanțului cinematic principal de lanțurile cinematice de avans nu este recomandată, se grupează mașinile la care avansul se măsoară în mm/rot sau mm/cursă dublă. Mașinile-unelte care se încadrează în aceste condiții funcționale sînt strungurile, mașinile de găurit, mașinile de alezat, mașinile de rabotat etc.

Creșterea gradului de complexitate a lanțului cinematic de avans în cazul unei acționări independente este evidențiată de faptul că viteza de așchiere și avansul sînt condiționate reciproc de considerente tehnologice care iau în considerare o serie de factori între care tipul operației (degroșare sau finisare), materialul de prelucrat, materialul sculei etc.

În aceste condiții, pentru un anumit avans s la prelucrarea cu o adîncime t a unui anumit material, la o operație de strunjire de exemplu, în funcție de scula folosită și durabilitatea T prevăzută, rezultă o viteză economică $v_e = \frac{Cv}{T^m \cdot s^{yv} \cdot t^{xv}}$. Pentru obținerea la strung a vitezei economice v_e determinată prin calcul, este necesar să fie respectată egalitatea

$$v_e = v_a = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1\,000} = \text{const},$$

în care: v_a reprezintă viteza reală obținută la arborele principal al mașinii, în m/min;

d — diametrul piesei de prelucrat, în mm;

n — turația arborelui principal, în rot/min.

Ca urmare pentru condiția economică de așchiere se obține valoarea turației prin expresia

$$n = \frac{1\,000\, v_e}{\pi \cdot d}, \tag{1.3}$$

din care rezultă că pentru diferite diametre d_x, în aceleași condiții tehnologice de lucru, turația va trebui reglată corespunzător relației

$$n_x = \frac{1\,000\, v_e}{\pi \cdot d_x} = \frac{k \cdot v_e}{d_x}. \tag{1.4}$$

Variația turației se realizează prin cutia de viteze, în trepte sau continuu, avînd o limită minimă n_{min} și una maximă n_{max}. Adîncimea de așchiere și avansul s sînt mărimi constante care depind de natura prelucrării și calitatea suprafeței dorite. Exprimînd mărimea avansului tehnologic funcție de lungimea de prelucrat L și turațiile corespunzătoare vitezei de așchiere, pentru prelucrarea unor piese cu diametre diferite rezultă relația

$$s = \frac{L}{n_1 \cdot t_1} = \frac{L}{n_2 \cdot t_2} = \frac{L}{n_3 \cdot t_3} = \cdots = \frac{L}{n_j \cdot t}, \tag{1.5}$$

unde $t_1, t_2 \ldots t_j$ reprezintă timpi de lucru efectiv la prelucrarea diferitelor piese cu diametre $d_1, d_2, d_3 \ldots d_j$.

Întrucît $\frac{L}{t_1} = v_{s1}; \frac{L}{t_2} = v_{s2}; \ldots \frac{L}{t_j} = v_{sj}$ reprezintă vitezele de avans la care se realizează prelucrările luate în considerare, rezultă că, deoarece în condițiile unui avans $s = \text{const}$, turațiile $n_1 \neq n_2 \neq n_3 \neq \ldots \neq n_j$ și vitezele de avans $v_{s1} \neq v_{s2} \neq \ldots v_{sj}$.

În consecință, dacă pentru prelucrările pe mașina respectivă sînt prevăzute un număr n_j de valori ale avansului $s_1, s_2, s_3 \ldots s_j$, și acționarea lanțului cinematic de avans se face de la arborele principal printr-un mecanism cu raport de transmitere constant (acționarea lanțului cinematic principal și de avans de la același motor), avansurile obținute la o rotație a piesei pot fi exprimate sub forma:

$$\begin{aligned} s_1 &= i_{A1} \cdot 2\pi R_p; \\ s_2 &= i_{A2} \cdot 2\pi R_p; \\ s_3 &= i_{A3} \cdot 2\pi R_p; \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ s_j &= i_{Aj} \cdot 2\pi R_p., \end{aligned} \tag{1.6}$$

unde: $i_{A1}, i_{A2} \ldots i_{Aj}$ reprezintă raporturile de transmitere ale cutiei de avansuri specifice fiecărei valori a treptelor de avans prevăzute;

R_p — raza pinionului de cremalieră care realizează deplasarea căruciorului.

Relațiile care exprimă treptele de avans în condiția unei acționări printr-un singur motor a lanțului cinematic principal și de avans evidențiază faptul că în cutia de avansuri sînt necesare a fi realizate un număr de trepte de reglare egal cu valorile de avans distincte prevăzute a fi folosite la mașină din considerente tehnologice.

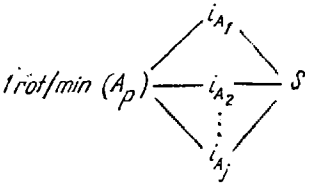
Dacă acționarea lanțului cinematic de avans s-ar face printr-un motor independent, diferit de cel folosit pentru acționarea mișcării principale, obținerea celor s_j trepte de avans s-ar realiza corespunzător relațiilor:

$$\begin{aligned} s_1 &= \frac{n_{Os}}{n_1} \cdot i_{A1} \cdot 2\pi R_p = \frac{n_{Os}}{n_2} \cdot i_{A1} \cdot 2\pi R_p = \ldots = \frac{n_{Os}}{n} \cdot i_{A1} \cdot 2\pi R_p; \\ s_2 &= \frac{n_{Os}}{n_1} \cdot i_{A2} \cdot 2\pi R_p = \frac{n_{Os}}{n_2} \cdot i_{A2} \cdot 2\pi R_p = \ldots = \frac{n_{Os}}{n} \cdot i_{A2} \cdot 2\pi R_p; \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ s_j &= \frac{n_{Os}}{n_1} \cdot i_{Aj} \cdot 2\pi R_p = \frac{n_{Os}}{n_2} \cdot i_{Aj} \cdot 2\pi R_p = \ldots = \frac{n_{Os}}{n} \cdot i_{Aj} \cdot 2\pi R_p, \end{aligned} \tag{1.7}$$

în care: n_{os} reprezintă turația motorului de acționare a lanțului cinematic de avans;

$n_1, n_2, n_3, \ldots, n$ — turațiile arborelui principal.

Analizînd relațiile corespunzătoare celor două moduri de acționare rezultă că în primul caz (acționarea printr-un singur motor) formula lanțului cinematic de avans este:



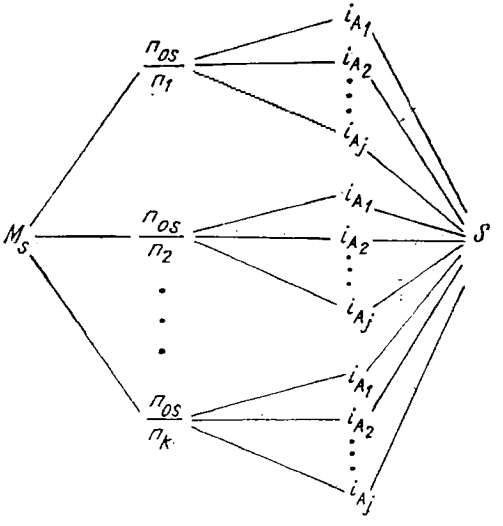
(1.8)

unde: A_p reprezintă arborele principal;

S — sania portsculă.

Rezultă că numărul treptelor de reglare q_s ale mecanismului de avans este redus la o valoare $q_s = j$.

În cazul acționării independente a lanțului cinematic de avans folosind un motor M_s, formula structurală a mecanismului va lua forma:



(1.9)

pentru care rezultă un număr de trepte de reglare a avansurilor $q = j \cdot k$,

unde: j este numărul treptelor de avans distincte realizabile pe mașina-unealtă cu acționare unică;

k — numărul treptelor de reglare a turației arborelui principal.

Din analiza efectuată se constată că în cazul acționării mișcării principale și de avans de la același motor, numărul treptelor de reglare a avansurilor este egal cu numărul de valori distincte obținute pentru mișcarea de avans și prin urmare structura lanțului cinematic va fi sub acest aspect de o simplitate maximă. În cazul unei acționări independente a lanțului cinematic de avans, complexitatea acestuia crește considerabil, numărul treptelor de reglare a avansurilor fiind amplificat în raport cu primul caz cu o valoare egală cu numărul treptelor de reglare a turațiilor. Din cauza creșterii excesive a complexității lanțului cinematic de avans în situația acționării independente, acest sistem nu este recomandat atunci cînd mărimea avansului se măsoară în mm/rot.

Pentru a reliefa gradul de complexitate care apare în lanțul cinematic de avans se constată că un strung care la acționarea printr-un motor unic are un număr de trepte de turații $k = 18$ și un număr de trepte de avans $j = 12$, ar impune la acționarea independentă a lanțului cinematic de avans un număr de trepte de reglare $q_s = j \cdot k = 12 \times 18 = 216$, care practic este irealizabil.

Prin urmare rezultă concluzia că, în cazul mașinilor-unelte la care avansul se măsoară în mm/rot, acționarea independentă (prin motor separat) a lanțului cinematic de avans determină creșterea gradului de complexitate al acestuia și ca atare soluțiile pot ajunge practic irealizabile. Din aceste motive, în cazul mașinilor-unelte care au un asemenea mod de prelucrare, se va folosi o legătură mecanică cu raport de transmitere determinat între lanțul cinematic de avans și lanțul cinematic principal, acționarea făcîndu-se printr-un singur motor.

Mașinile-unelte care realizează prelucrarea prin valori determinate ale vitezelor de avans permit acționarea independentă a lanțului cinematic principal și de avans, soluție care simplifică ansamblul schemei cinematice. O situație de acest gen este specifică mașinilor de frezat, de rectificat, de șlefuit etc. În cazul în care pentru aceste mașini nu se folosește o acționare independentă, ansamblul lanțului cinematic de avans se consideră ca un mecanism independent.

La mașinile de rabotat sau mortezat se folosesc alte variante de acționare a mișcării de avans întrucît aceasta se realizează în afara procesului de așchiere la capetele de cursă.

Pentru acționarea lanțurilor cinematice pentru deplasările auxiliare (apropiere și retragere rapidă, reglare, poziționare etc.), se folosesc motoare independente, alese funcție de puterea necesară pentru efectuarea mișcărilor respective în gol. Această soluție permite utilizarea în condiții de consum energetic minim, a motoarelor cu care este înzestrată mașina-unealtă, întrucît fiecare motor poate fi folosit în condiții apropiate de randamentul optim.

Luînd în considerare aspectele menționate rezultă că la stabilirea numărului de motoare cu care urmează a fi echipată mașina-unealtă, se vor lua în considerare următoarele:

— schema cinematică de ansamblu a mașinii-unelte cu precizarea corectă a lanțurilor cinematice dependente și independente;

— analiza variantelor de acționare posibile;

— analiza complexității soluțiilor sub aspect cinematic, constructiv, funcțional și energetic cu precizarea variantei tehnico-economice optime;

— stabilirea motoarelor necesare pentru antrenarea diferitelor lanțuri cinematice ale mașinii și a diverselor mecanisme și instalații auxiliare cu care trebuie să fie înzestrată mașina, ca de exemplu: instalații de ungere și răcire, mecanisme de alimentare, mecanisme de indexare etc.

Pe baza elementelor menționate se elaborează schemele de acționare și se alege varianta optimă.

1.3. CONDIȚII DINAMICE ÎN ACȚIONAREA MAȘINILOR-UNELTE

Mișcările organelor de lucru ale mașinilor-unelte trebuie să fie realizate cu viteze determinate de condițiile tehnologice specifice prelucrărilor prevăzute a fi efectuate pe fiecare mașină în parte. Vitezele determinate pentru diferitele prelucrări prin așchiere trebuie să poată fi realizate și menținute la valoarea stabilită, în tot timpul lucrului. Deoarece în procesul de prelucrare sistemele cinematice transmit mișcarea la valoarea tehnologic impusă și în același timp asigură realizarea forțelor de așchiere prin care se efectuează diferitele operații, rezultă că ansamblul lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte va trebui să realizeze mișcarea în condiții dinamice diferite. Acest lucru este evident dacă se ia în considerare faptul că una și aceeași turație a arborelui principal al mașinii poate fi folosită în condiții de sarcină diferită. Valoarea diferită a sarcinii poate fi determinată în cadrul unei anumite prelucrări de variațiile adaosului de prelucrare, de neomogenitatea structurii materialului prelucrat, de modificarea condițiilor în care are loc prelucrarea (uzura în timp a sculei, influența frecării dintre sculă și material, dintre așchii sculă și material etc.) și de condițiile de ungere diferite pentru suprafețele de ghidare ale organelor de lucru ale mașinii. În același timp, o anumită turație poate fi folosită în condiții diverse ale regimului de așchiere deoarece pe o mașină-unealtă pot fi executate piese din materiale diferite, cu scule deosebite ca material, formă și dimensiuni, iar diversitatea dimensiunilor pieselor și operațiilor creează o infinitate de situații de sarcină în lanțul cinematic de lucru. Ca urmare rezultă că în acționarea lanțurilor cinematice generatoare se impun a fi realizate trei condiții, și anume:

— lanțurile cinematice generatoare să asigure posibilitatea reglării mișcării la valoarea tehnologic determinată;

— din punct de vedere dinamic să asigure menținerea mișcării la parametrii reglați și să elimine sau să limiteze la erori minime valoarea reglată, indiferent de variația sarcinii;

— în condițiile în care se impune o variație a mișcării în timpul lucrului, sistemul dinamic să asigure realizarea legii de mișcare tehnologic impuse cît mai fidel (cu erori minime).

Luînd în considerare condițiile menționate, din ecuația de mișcare

$$M_d = M_m - M_r = J\frac{d\omega}{dt} \tag{1.10}$$

se constată că în cazul prelucrărilor cu o anumită turație reglată inițial, respectarea parametrilor tehnologici ai prelucrării este asigurată atunci cînd

accelerația $\frac{d\omega}{dt} = 0$. Aceasta înseamnă că din punct de vedere teoretic se impune egalitatea $M_m = M_r$, indiferent de variația forțelor rezistente din sistem care determină cuplul rezistent M_r. Prin urmare este necesar să se aleagă un motor de acționare care să asigure un cuplu motor M_m, capabil să echilibreze cuplul rezistent M_r, fără ca turația lui să varieze. Din punct de vedere teoretic, caracteristica de acționare $M = f(n)$ ar corespunde, într-un sistem de axe M și n, unei drepte paralele la axa cuplului M (fig. 1.9).

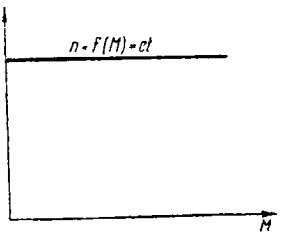


Fig. 1.9. Caracteristica mecanică de acționare specifică prelucrărilor pe mașini-unelte.

Variația cuplului rezistent poate fi reflectată prin relația

$$M_r = F_z \frac{d_p}{2} \cdot \frac{1}{i_{cv} \cdot \eta_p} + Q_z \frac{d_a}{2} \cdot \frac{1}{i_{ca} \cdot \eta_a}, \qquad (1.11)$$

în care: F_z reprezintă componenta principală a forței de așchiere;
Q_z — forța rezistentă la elementul de antrenare a organului de execuție (pentru mișcarea de avans);
d_p — diametrul piesei sau sculei;
i_{cv} — raportul de transmitere dintre axul motorului și arborele principal;
d_a — diametrul elementului de acționare a mesei sau a saniei de avans;
η_p — randamentul mecanismelor din lanțul cinematic principal;
i_{ca} — raportul de transmitere între șurub sau cremalieră și arborele motor;
η_a — randamentul mecanismelor din lanțul cinematic de avans.

Se constată că toți termenii care determină cuplul rezistent sînt variabili, atît la reglare (raporturile de transmitere i_{cv} și i_{ca}) cît și în timpul prelucrării. În consecință, egalitatea $M_m = M_r$ va trebui să fie respectată în condiții determinate de diverși factori care nu pot fi prestabiliți și controlați.

În cazul în care procesul tehnologic impune ca la anumite mașini-unelte în timpul prelucrării turația să varieze după o lege dată, modificarea turației, și în consecință valoarea accelerației $\frac{d\omega}{dt}$ va trebui să fie determinată prin sistemul de comandă, funcție de parametrul care condiționează turația tehnologic necesară și nu de variațiile cuplului rezistent.

1.4. CARACTERISTICI DE ACȚIONARE SPECIFICE DIFERITELOR TIPURI DE LANȚURI CINEMATICE

Caracteristica lanțurilor cinematice principale. La prelucrarea pe mașini-unelte, mișcarea principală se caracterizează prin viteză și direcție determinate de factori tehnologici și de formă ai piesei.

Forma pieselor prelucrate determină tipul mișcărilor de generare, iar factorii tehnologici valoarea vitezelor de lucru. Sistemul de acționare nu stabilește tipul mișcărilor de generare, dar determină valoarea vitezelor cu care se execută aceste mișcări și celelalte caracteristici, cum ar fi direcția și sensul.

Întrucît viteza de așchiere condiționată de factorii tehnologici este în același timp determinată de sistemul de acționare, rezultă că motoarele folosite vor trebui să satisfacă din punct de vedere dinamic condiția de a menține turația la valoarea reglată pentru o anumită condiție de prelucrare, indiferent de sarcină (v. fig. 1.9).

Pentru realizarea unui regim economic de funcționare se are în vedere faptul că funcție de particularitățile de deplasare ale organului de lucru acționat prin lanțul cinematic principal, pot exista două situații distincte atunci cînd se analizează modul de reglare a turațiilor.

În cazul mișcărilor principale de rotație (strunguri, mașini de alezat, mașini de găurit etc.), la reglarea turației se va lua în considerare că în condiția unei forțe de așchiere maxime $F_{a\,max}$, mașina trebuie să permită realizarea vitezei tehnologice maxime admise v_{amax}, indiferent de dimensiunile piesei sau sculei. Ca urmare rezultă că expresiile puterii și cuplului vor fi în aceste condiții:

$$N = \frac{F_{a\,max} \cdot V_{a\,max}}{75 \times 60} = \text{const}; \quad M = \frac{F_{a\,max} \cdot d_x}{2} \neq \text{const}, \tag{1.12}$$

întrucît în condiția limită $F_{a\,max} = \text{const}$; $V_{a\,max} = \text{const}$, iar diametrul după care se aplică forța de așchiere la piesă sau sculă $d_x \neq \text{const}$.

Relațiile puterii și ale cuplului pentru cazul analizat evidențiază necesitatea reglării turațiilor lanțului cinematic principal la regim de putere constantă atunci cînd mișcarea principală este o mișcare de rotație.

Pentru mașinile care au ca mișcare principală o deplasare rectilinie, diametrul mecanismului care transformă mișcarea de rotație în mișcare rectilinie alternativă este constant (pinionul de cremalieră, piuliță, melcul etc.), în schimb reglarea turației determină variația vitezei de lucru (așchiere). În consecință, expresiile puterii și ale cuplului vor fi:

$$N = \frac{F_{a\,max} \cdot V_x}{75 \times 60} \neq \text{const}; \quad M = \frac{F_{a\,max} \cdot d}{2} = \text{const}, \tag{1.13}$$

întrucît $d = \text{const}$.

În aceste condiții se impune ca reglarea turației lanțului cinematic principal să se facă la o valoare constantă a cuplului.

Caracteristica lanțurilor cinematice de avans. Aceasta va trebui să corespundă sub aspect dinamic condițiilor evidențiate pentru lanțurile cinematice principale. În acest sens se evidențiază stabilitatea mișcării indiferent de variația sarcinii și în consecință realizarea unei caracteristici de acționare rigide. Din punctul de vedere al reglării turațiilor, particularitățile meca-

nismelor de avans determină, de obicei, reglarea la cuplu constant întrucît în general mișcările de avans se realizează printr-o deplasare a organului de lucru și numai în unele cazuri prin mișcări de rotație (avans circular).

Caracteristica lanțurilor cinematice auxiliare. Are ca specific faptul că pornirea sau oprirea se face în sarcină și ca urmare sistemul de acționare va trebui să favorizeze eliminarea șocurilor și să asigure realizarea unui cuplu maxim necesar fără însă a implica o stabilitate riguroasă a mișcării. Prin urmare aceste lanțuri cinematice nu impun motoare de acționare cu caracteristică rigidă. În unele cazuri (la sisteme de strîngere și blocare și chiar la deplasarea rapidă a unor subansamble), variația turației cu sarcina are aspecte pozitive. Aceste aspecte se evidențiază în funcționarea sistemelor de strîngere prin aceea că la creșterea sarcinii turația scade, fapt care favorizează funcționarea în bune condiții a mecanismului.

1.5. CARACTERISTICA DE ACȚIONARE A SISTEMELOR HIDROSTATICE FOLOSITE LA MAȘINILE-UNELTE

Sistemele hidrostatice se folosesc în construcția mașinilor-unelte la realizarea mișcărilor principale (îndeosebi în cazul deplasării rectilinii alternative), pentru mișcările de avans și pentru mișcări auxiliare.

Atît în cazul mișcărilor rectilinii cît și la cele de rotație, valoarea vitezelor obținute la motoarele hidraulice sînt proporționale cu debitele cu care sînt alimentate acestea. Proporționalitatea dintre vitezele de mișcare și debitele de alimentare ale motoarelor pot fi evidențiate prin relațiile:

pentru deplasarea rectilinie

$$v = \frac{Q}{10A} \text{ m/min}, \tag{1.14}$$

pentru cele rotative

$$n = \frac{Q}{k_M} \text{ rot/min},$$

în care: Q reprezintă debitul de alimentare, în l/min;
A — secțiunea cilindrului motor, în cm²;
k_M — caracteristica constructivă a motorului rotativ, în l/rot.

Întrucît pentru un sistem hidrostatic determinat avînd caracteristicile motoarelor stabilite din condițiile de sarcină ale mașinii, secțiunea $A = \text{const}$, respectiv caracteristica motorului hidraulic rotativ $k_M = \text{const}$, legea de mișcare va fi condiționată de debitul de alimentare a sistemului, adică de debitul pompei Q_p, care poate fi exprimat prin relația

$$Q_p = k_p \cdot n_p \quad [\text{l/min}], \tag{1.15}$$

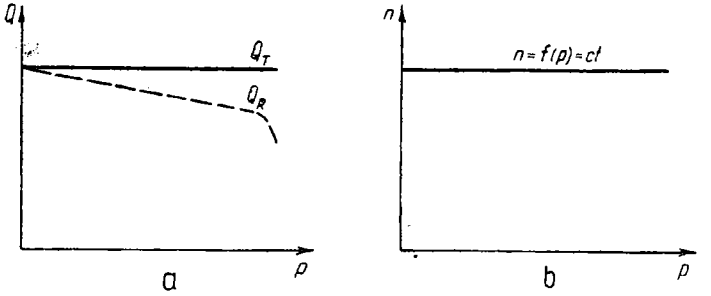


Fig. 1.10. Caracteristicile specifice pompelor:

a — caracteristica de debit; *b* — caracteristica de acționare; Q_T — curba de variație a debitului teoretic funcție de presiune; Q_R — variația debitului real cu presiunea.

unde: k_p reprezintă caracteristica constructivă a pompei;

n_p — turația motorului de acționare a pompei.

Deoarece pentru o situație dată (o pompă cu debit constant sau un anumit reglaj efectuat la pompele cu debit variabil) caracteristica pompei este $k_p = \text{const}$, obținerea debitului necesar și menținerea valorii luate în considerare pentru o condiție funcțională dorită sînt determinate de stabilitatea turației de antrenare a pompei, respectiv de turația motorului de acționare. Deoarece caracteristica pompei (fig. 1.10, *a*) presupune realizarea debitului necesar și specific unei anumite valori k_p, indiferent de presiunea de lucru dacă aceasta se menține în limita presiunii maxime prevăzută prin construcție, obținerea acesteia $Q = k_p \cdot n_p = \text{const}$, se va asigura numai dacă turația $n_p = \text{const}$ (fig. 1.10, *b*). Din punct de vedere teoretic se poate admite $Q_p = \text{const}$, dar dacă se iau în considerare pierderile volumice proporționale cu presiunea rezultă că debitul real scade cu creșterea presiunii. Această variație trebuie să fie cît mai mică pe întregul domeniu de lucru al pompei ($0 \ldots p_{max}$).

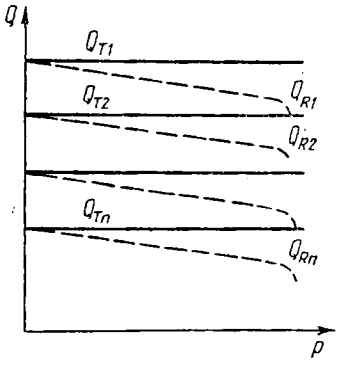


Fig. 1.11. Caracteristicile de variație a debitelor pompelor cu debit reglabil:

$Q_{T1}, Q_{T2} \ldots Q_{Tn}$ — caracteristici specifice debitelor teoretice; $Q_{R1}, Q_{R2} \ldots Q_{Rn}$ — caracteristicile reale ale debitelor.

Pierderile volumice devin echivalente debitului cînd se atinge presiunea de cădere $p_c > p_{max}$ a pompei. Prin urmare considerațiile referitoare la stabilitatea debitului se referă la funcționarea pompei la presiuni mai mici decît punctul de cădere ($p_{max} \leqslant p_c$).

În cazul pompelor cu debit reglabil, stabilitatea turației de acționare asigură obținerea debitelor prevăzute pentru un anumit reglaj al valorii k_p, similar modificării raporturilor de transmitere în lanțurile cinematice mecanice. În acest caz caracteristicile pompelor $Q = f(p)$ vor corespunde reprezentării din figura 1.11, pentru care poate fi luată în considerare relația $Q = k_{px} \cdot n = \text{const}$.

2

MOTOARE ELECTRICE FOLOSITE ÎN ACȚIONAREA MAȘINILOR-UNELTE

2.1. MOTOARE ASINCRONE

2.1.1. CARACTERISTICA MECANICĂ

Motoarele asincrone trifazate sînt utilizate frecvent în acționarea mașinilor-unelte datorită simplității lor constructive, siguranței mari în exploatare și prețului de cost redus. Un alt avantaj al acestor motoare constă în posibilitatea alimentării lor direct de la rețeaua de curent alternativ. În același timp ele îndeplinesc și condiția ca turația să varieze puțin la schimbarea cuplului rezistent, adică posedă o caracteristică mecanică rigidă.

Motoarele asincrone trifazate se utilizează la acționarea lanțurilor cinematice principale, de avans și auxiliare.

Cuplul dezvoltat de motorul asincron poate fi exprimat în mod aproximativ cu ajutorul relației

$$M = \frac{2M_{cr}}{\frac{s}{s_{cr}} + \frac{s_{cr}}{s}}, \tag{2.1}$$

în care: M_{cr} este cuplul critic

$$M_{cr} = \frac{3\,U_1^2}{2\,\Omega_0(r_1 + \sqrt{r_1^2 + X_K^2})}; \tag{2.2}$$

s — alunecarea motorului la turația oarecare n

$$s = \frac{\Omega_0 - \Omega}{\Omega_0} = \frac{n_0 - n}{n_0}; \tag{2.3}$$

s_{cr} — alunecarea critică corespunzătoare cuplului critic

$$s_{cr} = \frac{r_2'}{\pm\sqrt{r_1^2 + X_K^2}}; \tag{2.4}$$

U_1 — tensiunea de alimentare pe faza statorului;

Ω_0 este viteza unghiulară de sincronism

$$\Omega_0 = \frac{\omega_1}{p} = \frac{2\pi f_1}{p};$$

n_0 — turația de sincronism;

ω_1, f_1 — pulsația, respectiv frecvența tensiunilor de alimentare statorice;

p — numărul de perechi de poli ai motorului;

r_1 — rezistența ohmică a înfășurării statorice;

r_2 — rezistența ohmică a înfășurării rotorice raportate la stator;

X_K — reactanța echivalentă

$$X_K = \omega_1(L_{T1} + L_{T2});$$

L_{T1}, L_{T2} — inductivitățile de dispersie pe fază ale înfășurărilor statorică în raport cu rotorul, respectiv invers, ultima raportată la stator.

n_0 — turația de sincronism;

n — turația de regim a motorului.

Din analiza relației (2.1) se observă că pentru valori ale alunecării $0 < s < s_{cr}$ se poate neglija termenul s/s_{cr} față de termenul s_{cr}/s și rezultă $M = 2\frac{M_{cr}\, s}{s_{cr}}$, adică cuplul variază practic proporțional cu alunecarea (fig. 2.1). Pentru $s > s_{cr}$ se poate neglija s_{cr}/s față de s/s_{cr} și din (2.1) se obține $M = \frac{2M_{cr}s_{cr}}{s}$, adică variația are loc practic după o hiperbolă echilaterală (fig. 2.1).

Din figura 2.1 se observă că pentru un cuplu rezistent constant și egal cu M_r, motorul poate funcționa atît în punctul A cît și în B, însă o funcționare stabilă există numai în punctul A. Dacă considerăm că motorul funcționează în punctul A și dintr-un motiv oarecare cuplul rezistent crește brusc devenind $M_r' > M$, rotorul motorului se frînează și alunecarea s crește, deoarece cuplul rezistent este mai mare decît cuplul motor.

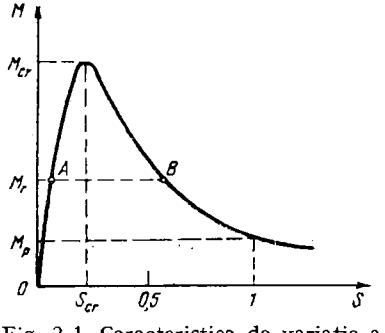


Fig. 2.1. Caracteristica de variație a cuplului funcție de alunecare la motoarele asincrone.

Odată cu mărirea alunecării, intensitatea frînării scade și cuplul motor crește, pînă devine egal cu cuplul rezistent. În acest moment procesul de frînare a încetat și viteza de rotație este din nou constantă. Din cele expuse rezultă că motorul funcționează stabil pe porțiunea urcătoare a caracteristicii $M = f(s)$.

Acum să considerăm că motorul funcționează pe porțiunea coborîtoare a curbei (fig. 2.1), și anume în punctul B, dezvoltînd un cuplu motor egal cu cuplul rezistent.

Dacă cuplul rezistent crește brusc și devine $M_r' > M_r$ atunci începe un proces de frînare al motorului, crescînd alunecarea s.

Pe diagramă se observă însă că la alunecări mai mari corespund cupluri active mai mici decît M'. Rezultă că frînarea în loc să slăbească se intensifică pînă cînd motorul se oprește. Astfel se explică funcționarea instabilă a motorului pe porțiunea coborîtoare a caracteristicii $M = f(s)$.

La motoarele asincrone $M_{cr} = (1{,}3 \ldots 3)\ M_N$, iar cuplul de pornire M_P este mai mic decît cuplul nominal M_N. În consecință motorul asincron nu poate porni în plină sarcină. Cu toate acestea utilizarea motorului asincron la mașinile-unelte dă completă satisfacție deoarece pornirea nu se face în sarcină.

Din relația (2.1) prin înlocuirea lui s din (2.3) se deduce caracteristica mecanică a motorului asincron (fig. 2.2). Pe această caracteristică se distinge porțiunea AB, pe care funcționarea motorului este stabilă, și porțiunea de funcționare instabilă notată cu BC. Pe porțiunea stabilă turația motorului scade puțin la mărirea cuplului, deci este o caracteristică rigidă.

La cuplul nominal motorul are o alunecare $s_N = (1{,}5 \ldots 5)\ \%$, valorile mai mici referindu-se la motoare de putere mai mare.

Motoarele asincrone pot funcționa și pe caracteristici artificiale care se obțin prin diferite metode, și anume: variația rezistenței ohmice din circuitul rotoric (numai pentru motoarele cu rotorul bobinat), variația tensiunii de alimentare, variația frecvenței tensiunii de alimentare.

Prin adăugarea rezistențelor suplimentare în circuitul rotorului motorului, alunecarea se mărește iar porțiunea liniară a caracteristicii mecanice se înclină mai mult. Se pot obține astfel caracteristici mecanice sub caracteristica naturală (fig. 2.3).

În acest caz cuplul critic nu se schimbă (în relația (2.2) nu intră rezistența rotorică), iar alunecarea critică se mărește conform relației

$$s_{cr_i} = \frac{r_2' + \sum_{i=1}^{i=3} R_i}{\sqrt{r_1^2 + X_K^2}}, \qquad (2.5)$$

în care R_i este rezistența suplimentară i.

Din figura 2.3 se observă că suma rezistențelor suplimentare ΣR_i incluse în circuitul indusului poate fi astfel aleasă încît cuplul de pornire să

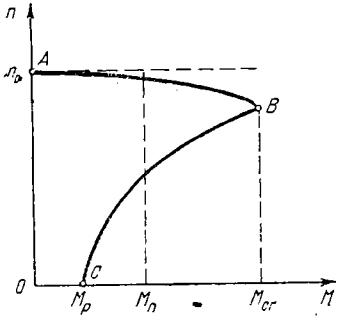


Fig. 2.2. Caracteristica mecanică a motoarelor asincrone.

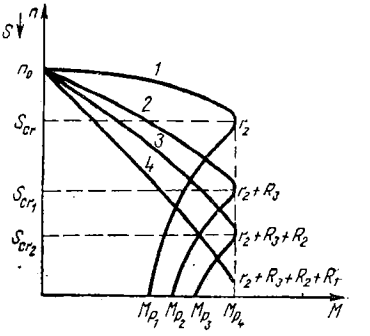


Fig. 2.3. Caracteristicile mecanice artificiale obținute prin variația rezistenței ohmice din circuitul rotoric al motoarelor asincrone.

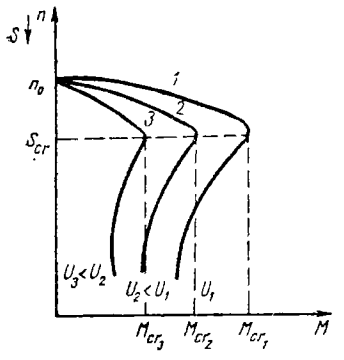


Fig. 2.4. Caracteristici artificiale rezultate prin variația tensiunii de alimentare.

fie egal cu cuplul critic. Acest tip de caracteristici se întîlnesc la pornirea și reglarea turației motoarelor asincrone cu rotorul bobinat.

Prin varierea tensiunii U_1 de alimentare se obțin caracteristici artificiale la care cuplul critic variază, în timp ce alunecarea critică rămîne neschimbată (nu depinde de tensiunea U_1 (rel. 2.4)). Alura caracteristicilor mecanice pentru diferite tensiuni de alimentare este dată în figura 2.4.

Se observă că prin micșorarea tensiunii de alimentare porțiunea dreaptă din caracteristici devine mai înclinată, micșorîndu-se astfel rigiditatea acesteia.

Din relația (2.2) rezultă raportul dintre cuplurile critice a două caracteristici

$$\frac{M_{cr_1}}{M_{cr_i}} = \left(\frac{U_1}{U_i}\right)^2, \tag{2.6}$$

unde i este numărul de ordine al caracteristicii artificiale.

Cuplul dezvoltat de motor la aceeași alunecare este direct proporțional cu pătratul tensiunii de alimentare (se observă aceasta prin înlocuirea relației 2.2) în relația (2.1)), adică

$$M = KU_1^2. \tag{2.7}$$

Relația (2.7) arată că la micșorarea tensiunii de alimentare pe fază a statorului se micșorează cuplul și respectiv puterea dezvoltată de motor, care duce în final la micșorarea curentului absorbit de la rețeaua electrică. Această posibilitate este frecvent utilizată la pornirea stea-triunghi (λ / Δ) a motoarelor de putere mare cu rotorul în scurtcircuit, întrucît tensiunea pe fază la legarea în stea este de $\sqrt{3}$ ori mai mică decît la legarea în triunghi.

În cazul modificării frecvenței tensiunii de alimentare, la valori nu prea scăzute ale acesteia, în relația (2.2) și (2.4) se poate neglija r_1 în raport cu X_K. În acest caz, pentru alunecare și cuplul critic, rezultă relațiile:

$$s_{cr} \simeq \frac{r_2'}{X_K} \simeq \frac{K_s}{f_1}; \quad M_{cr} \simeq \frac{3pU_1^2}{8f_1^2(L_{T1}+L_{T2})} = \frac{K_M U_1^2}{f_1^2}, \tag{2.8}$$

în care K_s și K_M sînt constante caracteristice motorului.

Prin urmare, alunecarea critică este invers proporțională cu frecvența iar cuplul critic — invers proporțional cu pătratul frecvenței de alimentare.

Raportul dintre alunecările critice și raportul cuplurilor critice pentru două caracteristici artificiale sînt date de relațiile:

$$\frac{s_{cr_1}}{s_{cr_2}} = \frac{f_1'}{f_1}; \quad \frac{M_{cr_1}}{M_{cr_2}} = \left(\frac{f_1'}{f_1}\right)^2. \tag{2.9}$$

În figura 2.5 sînt prezentate două caracteristici mecanice artificiale: una (curba *2*) obținută la frecvența $f' < f_1$, iar cealaltă (curba *3*) la frecvența $f_1'' > f_1$. Se observă că în același timp cu schimbarea rigidității porțiunii dure a caracteristicii mecanice se schimbă și turația de sincronism.

Dacă variația frecvenței are loc simultan cu variația tensiunii de fază statorice U_1, astfel încît $U_1/f_1 = \text{const}$, cuplul critic rămîne practic constant. Caracteristicile mecanice obținute în aceste condiții pe porțiunea lor dură au practic aceeași rigiditate.

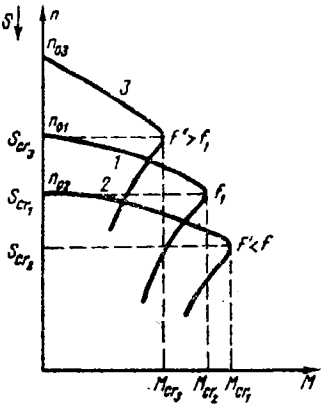


Fig. 2.5. Caracteristicile artificiale obținute prin variația frecvenței tensiunii de alimentare a motoarelor asincrone.

2.1.2. PORNIREA ȘI INVERSAREA SENSULUI DE ROTAȚIE LA MOTOARELE ASINCRONE

Problemele privind pornirea motorului asincron sînt legate de mărimea cuplului și a șocului de curent la pornire.

Pentru motoarele utilizate la acționarea lanțurilor cinematice principale, care nu pornesc în sarcină, cuplul de pornire dezvoltat de motor este în general suficient, întrucît acesta trebuie să învingă numai cuplurile datorate frecărilor și inerției maselor antrenate în mișcare. Nu același lucru se poate spune despre motoarele destinate acționării unor lanțuri auxiliare (strîngere, blocare, deplasare rapidă) cînd cuplul de pornire poate să nu fie suficient deoarece pornirea are loc în sarcină.

Pe de altă parte, mărimea curentului de pornire, care este de 5. . . 7 ori mai mare decît curentul nominal, ridică întotdeauna probleme la pornirea motoarelor de puteri mari. Aceasta se datorește faptului că mărirea curentului absorbit de la rețea duce la micșorarea tensiunii de alimentare, care provoacă distrugerea rețelei, proasta funcționare sau chiar oprirea altor mașini-unelte care funcționează în acel moment.

De aceea, în cazul unor motoare de puteri mari și ale unei rețele slabe se impune micșorarea curentului de pornire. În cele ce urmează ne propunem să prezentăm unele metode de îmbunătățire a pornirii, în sensul măririi cuplului și al micșorării curentului în momentul pornirii. Aceste metode depind de construcția motorului și de aceea vor fi prezentate pentru fiecare tip de motor în parte.

Pornirea motorului cu rotorul bobinat. Acest tip de motor poate fi pornit prin înscrierea în circuitul rotoric a unui reostat de pornire ale cărui rezistențe se scurtcircuitează la momentele potrivite, obținîndu-se astfel cupluri de pornire la valori ridicate cu curenți de pornire moderați. Din acest motiv, motorul cu inele colectoare poate fi pornit în plină sarcină, lucru ce nu este posibil la pornirea motoarelor cu rotorul în scurtcircuit.

Reostatele de pornire pot fi simetrice sau asimetrice. Se numesc *reostate de pornire simetrice* acele reostate la care scurtcircuitarea diferitelor trepte de rezistență se efectuează în același moment pe toate fazele. Astfel, pe fiecare fază rotorică rezistența este aceeași în fiecare moment. La *reostatele de pornire*

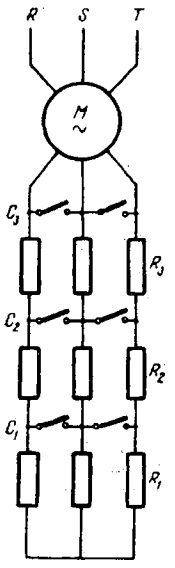


Fig. 2.6. Scheme de conectare a rezistențelor de pornire din circuitul rotoric al motoarelor asincrone.

asimetrice scurtcircuitarea diferitelor trepte de rezistență se efectuează succesiv nu simultan. Avantajele principale ce le prezintă asemenea reostate sînt legate de gabaritul mai mic și costul mai redus. În schimb ele nu pot fi utilizate întotdeauna datorită gradului de asimetrie introdus, care poate modifica caracteristica mecanică în cursul pornirii.

În figura 2.6 se prezintă modul de conectare în circuitul rotoric al motorului a unui reostat de pornire simetric compus din trei trepte de rezistență.

În momentul pornirii toate rezistențele $R_1 \ldots R_3$ sînt incluse în circuitul rotoric, iar motorul funcționează pe caracteristica artificială *3* (fig. 2.7).

Pe măsură ce turația crește, cuplul dezvoltat de motor se micșorează. Cînd acesta atinge valoarea M_1 treapta reostatului cu rezistența R_1 se scurtcircuitează prin închiderea contactelor C_1, mărindu-se cuplul motor la M_2 iar funcționarea continuîndu-se pe caracteristica artificială *2*. În mod similar se scurtcircuitează toate treptele reostatului și în final motorul va funcționa pe caracteristica mecanică naturală.

Ambele valori ale cuplului de pornire, cea maximă M_2 și cea minimă M_1, depășesc cuplul nominal. În general $M_1 \leqslant 0{,}85\ M_{cr}$, pentru a preîntîmpina eventuala scădere incidentală a tensiunii de alimentare. Corespunzător celor două cupluri curenții statorici au valorile: $I_1 = (1{,}05 \ldots 1{,}3)\ I_N$; $I_2 = (1{,}5 \ldots 2{,}3)\ I_N$.

Calculul reostatului de pornire constă în determinarea numărului total de trepte z și a valorilor rezistențelor acestor trepte.

În cele ce urmează se va prezenta o metodă analitică aproximativă de dimensionare a reostatului. Metoda este aproximativă deoarece se consideră că $X_K \ll R_t / s$ și în aceste condiții cuplul electromagnetic dezvoltat de motor poate fi determinat cu relația

$$M \simeq \frac{3\,U_1^2 s}{\Omega_0 R_t}, \qquad (2.10)$$

în care R_t este rezistența totală pe fază din circuitul rotoric.

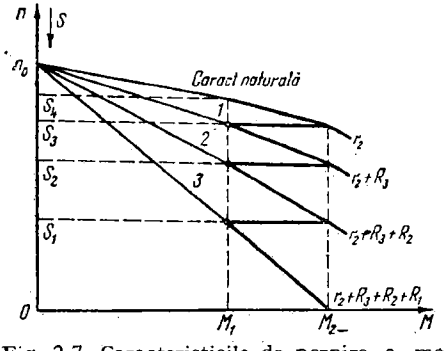


Fig. 2.7. Caracteristicile de pornire a motoarelor asincrone cu ajutorul unui reostat.

Relația (2.10) arată că pentru același cuplu dezvoltat de motor în decursul pornirii, rezistențele totale pe fază din circuitul rotoric sînt aproximativ proporționale cu alunecările s ale motorului. Considerînd, pentru generalitate, că reostatul are z trepte de rezistență iar alunecarea pe caracteristica

mecanică naturală este s_z pentru cuplul M_2 și s_{z-1} pentru cuplul M_1, din figura 2.7 se poate scrie:

pentru cuplul M_2:

$$\frac{R_{t1}}{1} = \frac{R_{t2}}{s_1} = \frac{R_{t3}}{s_2} = \ldots = \frac{R_{tz}}{s_{z-t}} = \frac{r_2}{s_z} = \frac{1}{M_2}; \tag{2.11}$$

pentru cuplul M_1:

$$\frac{R_{t1}}{s_1} = \frac{R_{t2}}{s_2} = \frac{R_{t3}}{s_3} = \ldots = \frac{R_{tz}}{s_z} = \frac{r_2}{s_{z+1}} = \frac{1}{M_1}, \tag{2.12}$$

unde: $R_{tz} = r_2 + R_z$; $R_{t,\,z-1} = r_2 + R_z + R_{z-1}$; ...

$$\ldots; \; R_{t2} = r_2 + R_z + \ldots + R_2; \; R_{t1} = r_2 + R_z + \ldots + R_2 + R_1. \tag{2.13}$$

Notînd $\frac{M_2}{M_1} = \gamma$, din cele două șiruri de raporturi se pot obține relațiile:

$$\frac{1}{s_1} = \frac{s_1}{s_2} = \frac{s_2}{s_3} = \ldots = \frac{s_{z-1}}{s_z} = \frac{s_z}{s_{z+1}} = \gamma; \tag{2.14}$$

$$\frac{R_{t1}}{R_{t2}} = \frac{R_{t2}}{R_{t3}} = \ldots = \frac{R_{t,\,z-1}}{R_{tz}} = \frac{R_{tz}}{r_2} = \gamma. \tag{2.15}$$

Din relația (2.14) se obține:

$$s_2 = s_1^2; \quad s_3 = s_1^3 \ldots s_z = s_1^z.$$

Din ultima egalitate se poate deduce numărul de trepte necesare pentru reostatul de pornire, și anume:

$$z = \frac{\log s_z}{\log s_1}. \tag{2.16}$$

Deoarece $s_1 = s_{z+1}/s_z$ (relație obținută din (2.14) prin egalarea primului raport cu ultimul), relația (2.16) poate fi transformată în

$$z = \frac{\log s_z}{\log s_{z+1} - \log s_z}. \tag{2.17}$$

Prin urmare, numărul de trepte z ale reostatului de pornire este în funcție numai de alunecările s_z și s_{z+1} de pe caracteristica naturală, corespunzătoare cuplurilor maxim M_2 și minim M_1.

Treptele reostatului se obțin din relația (2.15), ținînd seama de relațiile (2.13):

$$\begin{aligned} &R_z = R_{tz} \qquad r_2 = (\gamma - 1)\, r_2; \\ &R_{z-1} = R_{t,\,z-1} - R_{tz} = R_{tz}(\gamma - 1) = \gamma\,(\gamma - 1)\, r_2; \\ &R_2 = R_{t2} - R_{t3} = R_{t3}(\gamma - 1) = \gamma^{z-1}\,(\gamma - 1)\, r_2; \\ &R_1 = R_{t1} - R_{t2} = R_{t2}\,(\gamma - 1) = \gamma^z(\gamma - 1)\, r_2. \end{aligned} \tag{2.18}$$

Metodologia de calcul a reostatului de pornire este următoarea:

— Se aleg valorile cuplurilor M_1 și M_2.

— Se determină alunecările s_z și s_{z+1} de pe caracteristica naturală pentru cuplurile M_2 și respectiv M_1.

— Cu relația (2.17) se determină numărul de trepte pentru reostatul de pornire rotunjindu-se acest număr la o valoare întreagă. Menținînd constant cuplul M_1 deci și alunecarea s_{z+1}, se recalculează noua valoare a alunecării s_z folosind relația $\log s_z = \frac{z}{z+1} \times \log s_{z+1}$. Cu noua valoare a lui s_z se determină noua valoare a cuplului M_2, care trebuie să satisfacă relația $M_2' = \leq 0{,}85\ M_{cr}$.

— Se calculează treptele de rezistențe cu relațiile (2.18) utilizînd $\gamma = M_2'/M_1$.

Pornirea prin introducerea unui reostat de pornire în circuitul rotoric prezintă dezavantajul unui consum mare de energie, iar șocurile de curent la trecerea de pe o caracteristică pe alta nu pot fi complet înlăturate.

Din aceste motive motoarele cu inele colectoare se utilizează la mașinile-unelte mai puțin ca cele cu rotorul în scurtcircuit. Se întîlnesc la acționarea unor lanțuri cinematice principale de puteri medii și mari (de exemplu la unele mașini de tăiat roți dințate, mașini de rectificat).

Pornirea motorului cu rotorul în scurtcircuit. Pentru motoare de putere mică pornirea se face prin cuplarea directă la rețea. Cînd însă puterea nominală depășește 25% din puterea transformatorului care alimentează rețeaua secției respective sînt necesare măsuri pentru limitarea curentului absorbit. Pentru motoarele cu rotorul în colivie de veveriță scăderea curentului de pornire se face prin micșorarea tensiunii de alimentare. În acest scop se folosește pornirea stea-triunghi, cu autotransformatoare și cu reostat în circuitul statorului.

La pornirea stea-triunghi înfășurările de fază se conectează în stea în primele momente ale pornirii, iar cînd se ajunge la regimul normal de funcționare se trece la conectarea în triunghi. Prin această metodă curentul absorbit se reduce de trei ori dar în aceeași măsură se reduce și cuplul de pornire. De aceea, metoda poate fi aplicată numai motoarelor utilizate la acționarea lanțurilor cinematice principale și de avans care pornesc în gol.

Pentru ca pornirea stea-triunghi să fie eficace trebuie îndeplinite următoarele două condiții:

— timpul conectării în stea să fie suficient de lung pentru a permite atingerea unei turații apropiate de turația nominală a motorului;

— în timpul pornirii, motorul să fie încărcat la maximum 1/3 din sarcina nominală pentru a permite accelerarea lui pînă la o turație apropiată de cea de regim.

Pentru a înțelege mai bine prima condiție se consideră curbele de variație a curentului la pornirea în stea *1* și la pornirea în triunghi *2* (fig. 2.8).

Se vede că la pornirea în stea curentul inițial este de $2\ I_N$ pe cînd la pornirea în triunghi curentul de pornire este $6I_N$.

Trecerea de la legătura în stea la cea în triunghi trebuie să fie efectuată numai cînd turația atinge valoarea n_2 egală cu circa 93. . .95% din turația nominală, deoarece numai în acest caz curentul la conectarea în triunghi

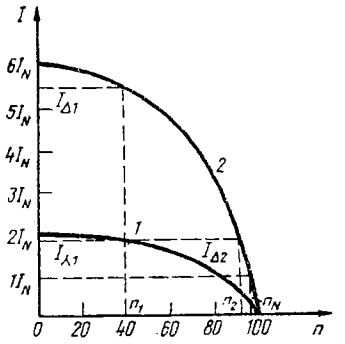


Fig. 2.8. Diagramele de variație a curentului la pornirea prin conexiune stea-triunghi.

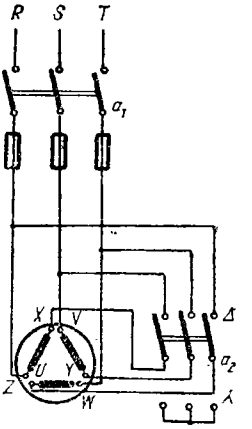


Fig. 2.9. Scheme de conectare la pornirea stea-triunghi.

$I_{\Delta 2}$ este mai mic decît curentul inițial de pornire în stea $I_\lambda = 2\,I_N$. După comutarea din stea în triunghi turația mai crește puțin pînă la valoarea nominală n_N (fig. 2.8).

În cazul schimbării conexiunii din stea în triunghi la o turație mai joasă, de exemplu n_1, curentul va crește la valoarea $I_{\Delta 1}$, care este mult mai mare decît $I_{\lambda 1}$ și în consecință nu se obține nici un avantaj. Aceeași situație apare dacă motorul este supus la o sarcină prea mare și nu poate depăși turația n_1.

Schema pentru pornire în stea-triunghi a unui motor asincron este dată în figura 2.9. Trecerea de la o conexiune la cealaltă se face cu ajutorul întreruptorului a_2.

Pornirea cu autotransformator constă în reducerea tensiunii de alimentare, în momentul pornirii, cu ajutorul unui autotransformator așezat în circuitul de alimentare (fig. 2.10). La pornire se închid întreruptoarele a_1 și a_2, alimentarea motorului făcîndu-se prin autotransformatorul T. La sfîrșitul perioadei de pornire se deschide întreruptorul a_2, legîndu-se motorul direct la rețea prin intermediul întreruptorului a_3.

Instalația necesară pornirii prin această metodă este costisitoare, de aceea folosirea sa este justificată la pornirea motoarelor asincrone de putere mare.

Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, prin introducerea unor rezistențe înseriate în circuitul statorului se aplică la motoarele ce antrenează lanțurile cinematice generatoare ale mașinilor-unelte grele.

Rezistențele care se introduc pe fiecare fază a circuitului statoric (fig. 2.11) au rolul de a provoca o scădere a tensiunii de alimentare și deci a curentului

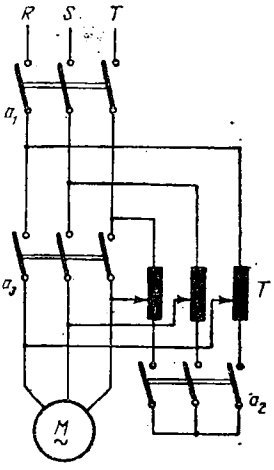


Fig. 2.10. Schema de conectare a motoarelor asincrone la pornirea cu ajutorul unui autotransformator.

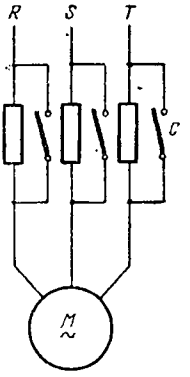


Fig. 2.11. Schema de pornire a motoarelor asincrone în scurtcircuit prin înserierea unor rezistențe în circuitul statoric.

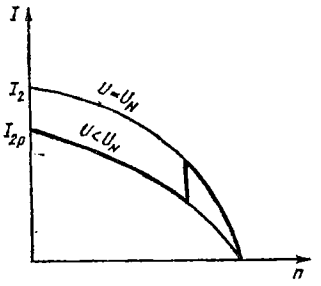


Fig. 2.12. Caracteristica de variație a curentului funcție de turația la pornirea cu ajutorul unor rezistențe înseriate în circuitul statoric.

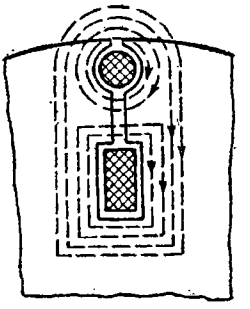


Fig. 2.13. Schema conductoarelor rotorului de la motoarele cu dublă colivie.

absorbit. Cînd motorul a atins o astfel de turație încît curentul absorbit, la funcționarea motorului fără rezistențe în circuitul statoric, nu mai este periculos, rezistențele se scurtcircuitează cu ajutorul contactelor *c*. Motorul va funcționa pe caracteristica $I = f(n)$ pentru $U = U_N$ (fig. 2.12).

Pornirea în acest caz nu se face cu șocuri deoarece curentul crește progresiv, pe măsură ce motorul se accelerează.

La scurtcircuitarea rezistenței șocul este de asemenea redus, deoarece circuitul de alimentare nu se deconectează (contactele *c* sînt în tot timpul funcționării închise). Prin alegerea valorii rezistențelor există posibilitatea alegerii pornirii motorului cu un cuplu și un curent absorbit convenabile.

Dezavantajul metodei constă în faptul că nu elimină complet șocul de curent iar consumul de energie este mare.

Pe lîngă motoarele cu rotorul în colivie de veveriță se mai construiesc și motoare cu rotorul în dublă colivie de veveriță, care posedă performanțe superioare. Statorul acestor motoare nu se deosebește cu nimic de cel obișnuit însă rotorul posedă două colivii dispuse concentric, una interioară și alta exterioară (fig. 2.13). Colivia interioară realizată din bare de cupru este plasată mai aproape de centrul rotorului. Colivia exterioară se realizează în schimb din material cu rezistivitate mare (alamă, bronz, aluminiu) și este plasată mai aproape de întrefier. Secțiunea barelor coliviei interioare este mai mare decît a celor exterioare.

În momentul pornirii, cînd curenții induși în rotor au aceeași frecvență cu tensiunea rețelei, curenții din colivia exterioară sînt în fază cu t.e.m. indusă pe cînd cei din colivia interioară sînt defazați. Din acest motiv cuplul dezvoltat de colivia exterioară este mai mare decît cel dezvoltat de colivia interioară.

Pe măsură ce rotorul se accelerează, curenții induși în ambele colivii devin practic în fază cu t.e.m. În schimb curentul din colivia interioară va fi mai mare decît curentul din colivia exterioară datorită rezistențelor diferite ale celor două colivii.

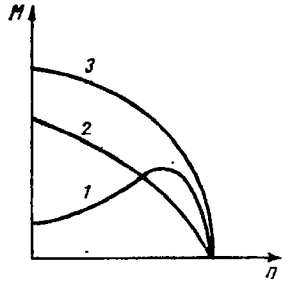


Fig. 2.14. Caracteristica mecanică a motoarelor asincrone cu dublă colivie.

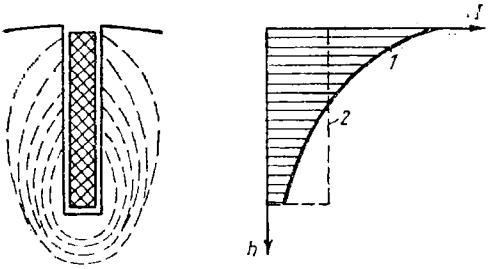


Fig. 2.15. Schema pornirii motoarelor cu crestături adînci:
a — bara coliviei; *b* — diagrame de variație a intensității curentului cu înălțimea *h* a barei.

Cuplul total al motorului este tot timpul suma celor două cupluri. La pornire, din motivele arătate, o pondere importantă o are cuplul dezvoltat cu colivia exterioară iar în timpul lucrului, cuplul dezvoltat cu colivia interioară (fig. 2.14).

Datorită simplității și robusteții în exploatare, acest motor are numeroase utilizări în: acționarea lanțurilor cinematice auxiliare ale mașinilor-unelte, blocarea traversei la raboteze și strunguri carusel, deplasarea rapidă a săniilor mașinii-unelte etc.

O altă variantă a motorului asincron trifazat o constituie motorul cu bare înalte. Acest motor are o colivie formată din bare de cupru de înălțime mult mai mare decît grosimea, introduse în crestături adînci (fig. 2.15, *a*). Îmbunătățirea condițiilor de pornire pentru acest motor se bazează pe fenomenul variației rezistenței barelor la schimbarea densității de curent în conductoare masive parcurse de curent alternativ.

La pornire, cînd turația rotorului este zero încă, frecvența curenților induși în barele coliviei este egală cu frecvența curenților statorici $f_2 = f_1$. În această situație densitatea de curent în bară este neuniformă pe înățimea barei (curba *1* din fig. 2.15, *b*) și bara prezintă o rezistență ridicată și o inductivitate relativ scăzută. De aceea, motorul dezvoltă un cuplu de pornire ridicat. Pe măsură ce rotorul se accelerează frecvența curenților rotorici scade pînă la 0,5 Hz, densitatea de curent devine practic uniformă pe toată înălțimea barei, iar rezistența barei scade. Curentul rotoric este practic în fază cu t.e.m. iar cuplul dezvoltat are valoare ridicată.

Prin urmare, funcționarea motorului cu bare înalte se aseamănă cu cea a motorului cu rotorul bobinat însă variația rezistenței rotorice la pornire se face în mod automat, datorită construcției rotorului.

Motorul cu bare înalte este mai ieftin decît motorul în dublă colivie însă cuplul de pornire este mai scăzut. Aceste motoare se utilizează la antrenarea lanțurilor cinematice auxiliare.

Pentru inversarea sensului de rotație la motorul asincron este necesar să se inverseze sensul cuplului electromagnetic. Se cunoaște că sensul cuplului coincide cu sensul cîmpului învîrtitor statoric, adică cu sensul de succesiune a fazelor statorului. Prin urmare, inversînd succesiunea fazelor statorului se realizează inversarea sensului de rotație al motorului. Aceasta se obține schimbînd între ele legăturile a două faze la bornele motorului.

2.1.3. REGLAREA TURAȚIEI MOTOARELOR ASINCRONE

Cu toate că motoarele asincrone sînt simple, se întreţin uşor şi se alimentează cu curent alternativ luat direct de la reţeaua electrică, din punctul de vedere al reglării turaţiei ele sînt depăşite de motoarele de curent continuu. În construcţia de maşini-unelte se utilizează totuşi motoare asincrone la care turaţia se poate varia, obţinîndu-se în acest fel reglarea turaţiei cu cutii de viteze mai simple.

Turaţia motoarelor asincrone este dată de relaţia

$$n = \frac{60f}{p}(1 - s)\ [\text{rot/min}], \tag{2.19}$$

în care: f este frecvenţa tensiunii de alimentare;
p — numărul de perechi de poli;
s — alunecarea motorului.

Din relaţia (2.19) rezultă că turaţia poate fi reglată prin următoarele metode: varierea alunecării prin introducerea unui reostat în circuitul rotoric; varierea frecvenţei tensiunii de alimentare; schimbarea numărului de perechi de poli.

Reglarea turaţiei prin introducerea unui reostat în circuitul rotoric se poate realiza numai în cazul motoarelor cu rotorul bobinat. Acest reostat se montează în acelaşi mod ca la pornire (v. fig. 2.6). Motorul va funcţiona pe caracteristici artificiale, variindu-se cu ajutorul reostatului valoarea alunecării s. La cuplu constant, motorul se roteşte avînd o alunecare cu atît mai mare cu cît rezistenţele conectate în serie cu înfăşurările de fază ale rotorului sînt mai mari. Acest lucru rezultă şi din relaţia aproximativă, care dă cuplul dezvoltat de motor pentru domeniul $s < s_{cr}$

$$M = \frac{2\,M_{cr}}{s_{cr}}\,s. \tag{2.20}$$

Deoarece cuplul critic M_{cr} nu depinde de rezistenţa rotorică (relaţia 2.2) iar alunecarea s_{cr} este proporţională cu $r_2' + \sum_{i=1}^{i=k} R_i$, din (2.20) se obţine

$$M = K_1 \frac{s}{r_2' + \sum_{i=1}^{i=k} R_i}, \tag{2.21}$$

unde: R_i este rezistenţa treptei i a reostatului;
k — numărul de trepte ale reostatului conectate în circuitul rotoric.

Din (2.21) rezultă că la aceeaşi valoare a cuplului M alunecarea s este direct proporţională cu rezistenţa rotorică, şi anume

$$s = K_2(r_2' + \sum_{i=1}^{i=k} R_i. \tag{2.22}$$

Prin urmare, variind rezistenţa R_i variază alunecarea s a motorului electric.

Această metodă de reglare a turației nu este economică, deoarece în rezistențele R_t se pierde, prin efectul Joule, o importantă cantitate de energie, îndeosebi la alunecări mari. Rezistențele R_t, fiind conectate permanent în circuitul rotoric și trebuind să degajeze o mare cantitate de căldură, sînt voluminoase și grele. Aceasta este însă singura metodă de reglare continuă a turației motoarelor asincrone, în lipsa unei instalații de variere a frecvenței curentului.

Reglarea turației prin varierea frecvenței f a tensiunii de alimentare se poate aplica numai atunci cînd motorul asincron este alimentat de la o instalație specială. Funcționarea motorului la diferite frecvențe va fi pe caracteristici artificiale, situate față de caracteristica naturală ca în figura 2.5. Varierea frecvenței se poate realiza cu ajutorul unui generator sincron antrenat de un motor cu turație variabilă, cu convertizoare ionice sau cu tiristoare.

Această metodă de reglare a turației se aplică limitat din cauza prețului ridicat și al randamentului scăzut ce îl are convertizorul de frecvență.

Reglarea turației prin schimbarea numărului de perechi de poli ai înfășurării statorice a căpătat o largă răspîndire la motoarele asincrone ce antrenează mașinile-unelte. Prin această metodă, se obține o reglare în trepte mari datorită faptului că numărul de perechi de poli nu poate fi decît o valoare întreagă.

Schimbarea numărului de perechi de poli se poate realiza fie prin folosirea unor înfășurări statorice independente, fie prin schimbarea legăturilor înfășurării statorice.

În primul caz înfășurările statorice au număr diferit de poli iar trecerea de la o turație la alta se face prin alimentarea altei înfășurări. În timp ce o înfășurare este alimentată, cealaltă trebuie să fie deschisă (fig. 2.16) pentru a nu apărea curent care ar încălzi această înfășurare. Motoarele electrice au în acest caz un gabarit mare și un preț de cost ridicat.

Acesta este motivul pentru care frecvent motoarele au o singură înfășurare iar schimbarea numărului de perechi de poli se realizează prin modificarea legăturilor la această înfășurare. Se realizează în acest fel motoare cu două turații. În acest caz fiecare înfășurare de fază este alcătuită din cîte două bobine care pot fi conectate în serie sau în paralel.

La conectarea în serie se obține un număr dublu de perechi de poli față de conectarea în paralel (fig. 2.17). Prin urmare, raportul celor două turații

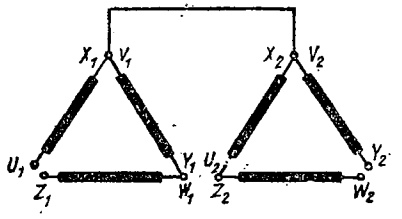


Fig. 2.16. Scheme de conectare a două înfășurări statorice distincte la reglarea turației prin variația numărului de perechi de poli.

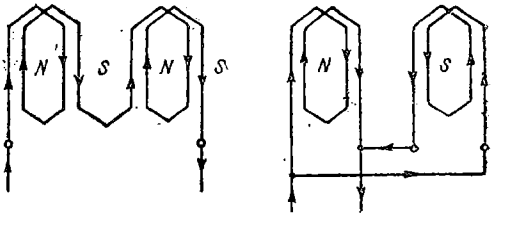


Fig. 2.17. Schema de conectare serie și paralel a înfășurării statorice la reglarea turației prin schimbarea numărului de perechi de poli:
a — conexiuni serie; *b* — conexiuni paralele.

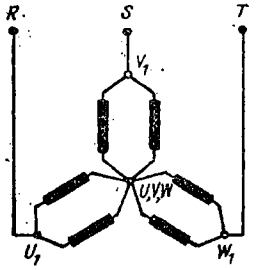
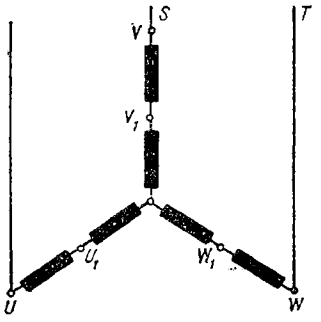


Fig. 2.18. Schema de conexiuni stea dublă la înfășurările statorice.



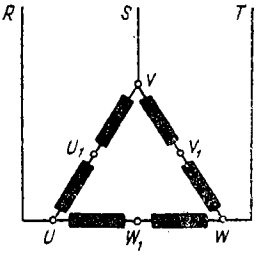


Fig. 2.19. Scheme de conectare stea-triunghi folosite la reglarea turației.
a — conectare stea; *b* — conectare triunghi.

obținute este 1:2. Se fabrică astfel motoare cu turațiile de sincronism 500/1 000, 750/1 500 și 1 500/3 000 rot/min.

Legarea în dublă stea, unde cele două bobine ale fiecărei înfășurări de fază sînt conectate în paralel (fig. 2.18), permite obținerea unui număr mai mic de perechi de poli și deci turație mare a motorului. Prin legarea în stea sau în triunghi (fig. 2.19), în care bobinele sînt conectate în serie, se obține un număr mare de perechi de poli și deci motorul are turația mică.

Trecerea de la legătura în stea dublă la legătura în triunghi permite o reglare a turației la putere constantă, iar trecerea de la legătura în stea la cea în dublă stea — la cuplu constant.

Aceasta se poate constata scriind relațiile care dau puterea pentru cele trei cazuri de conexiuni, și anume:

triunghi $P_{\Delta} = 3\,UI_N \cos \varphi_{\Delta}$;

dublă stea $P_{\lambda\lambda} = 2\sqrt{3}\; UI_N \cos \varphi_{\lambda\lambda}$;

stea $P_{\lambda} = \sqrt{3}\; UI_N \cos \varphi_{\lambda}$.

Considerînd, cu o oarecare aproximație, $\cos \varphi_{\Delta} = \cos \varphi_{\lambda\lambda} = \cos \varphi_{\lambda}$ pentru raporturile $P_{\Delta}/P_{\lambda\lambda}$ și $P_{\lambda}/P_{\lambda\lambda}$ se obțin valorile:

$$\frac{P_{\Delta}}{P_{\lambda\lambda}} = \frac{3\,UI_N \cos \varphi_{\Delta}}{2\sqrt{3}\,UI_N \cos \varphi_{\lambda\lambda}} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}86; \qquad (2.23)$$

$$\frac{P_{\lambda}}{P_{\lambda\lambda}} = \frac{\sqrt{3}\,UI_N \cos \varphi_{\lambda}}{2\sqrt{3}\,UI_N \cos \varphi_{\lambda\lambda}} = \frac{1}{2}. \qquad (2.24)$$

Din (2.23) rezultă că $P_{\Delta} \simeq P_{\lambda\lambda}$ și prin urmare, reglarea turației prin trecerea de la legătura în triunghi la legătura în dublă stea se face la putere maximă constantă. Acest mod de reglare se recomandă deci la motoarele utilizate la acționarea lanțurilor cinematice principale avînd mișcare de rotație.

Deoarece din relația (2.24) rezultă că $P_{\lambda} \neq P_{\lambda\lambda}$, se va scrie raportul cuplurilor dezvoltate de motor la conexiunea în stea și dublă stea. Deoarece $M_{\lambda} = 975\frac{P_{\lambda}}{n_{\lambda}}$; $M_{\lambda\lambda} = 975\frac{P_{\lambda\lambda}}{n_{\lambda\lambda}}$; $n_{\lambda\lambda} = 2n_{\lambda}$ și $P_{\lambda\lambda} = 2P_{\lambda}$ (relația 2.24),

unde: n_{λ} este turația la legarea în stea;

$n_{\lambda\lambda}$ — turația la legarea în dublă stea,

pentru $M_{\lambda}/M_{\lambda\lambda}$ se obține

$$\frac{M_{\lambda}}{M_{\lambda\lambda}} = \frac{975\frac{P_{\lambda}}{n_{\lambda}}}{975\frac{P_{\lambda\lambda}}{n_{\lambda\lambda}}} = \frac{P_{\lambda}}{P_{\lambda\lambda}}\frac{n_{\lambda\lambda}}{n_{\lambda}} = \frac{1}{2}\frac{2}{1} = 1. \qquad (2.25)$$

Prin urmare, reglarea turației prin trecerea de la legarea în stea la legarea în dublă stea se efectuează la cuplu constant.

Pentru realizarea a trei sau patru turații motorul este prevăzut cu două înfășurări statorice, din care numai o înfășurare (pentru motorul cu trei turații) sau ambele (pentru motorul cu patru turații) au posibilitatea să fie conectate în același mod ca la motorul cu două turații. În construcția de mașini-unelte cel mai frecvent sînt utilizate motoarele cu două turații și mai rar cele cu trei sau patru turații.

2.2. MOTOARE DE CURENT CONTINUU

2.2.1. CARACTERISTICA MECANICĂ

În acționarea electrică a mașinilor-unelte se folosesc numai motoare de curent continuu cu excitația în derivație, datorită faptului că prezintă o caracteristică rigidă, adică turația variază puțin la schimbarea cuplului rezistent.

Ecuația de funcționare pentru motorul de curent continuu cu excitația în derivație se poate deduce considerînd un motor conectat prin bornele sale AB la rețeaua de curent continuu avînd tensiunea constantă U_A(fig. 2.20).

Motorul va absorbi de la rețea curentul I care se ramifică în cele două înfășurări, rotorică și statorică, $I = I_A + I_E$.

Sensurile curenților I_A și I_E sînt reprezentate prin săgeți, așa cum rezultă din figura 2.20. Înfășurarea rotorică aflîndu-se în cîmpul electromagnetic al polilor de excitație și fiind străbătută de curentul I_A va fi solicitată de forțe electromagnetice care vor da naștere unui cuplu de rotație dat de relația

$$M = k_M I_A \Phi, \qquad (2.26)$$

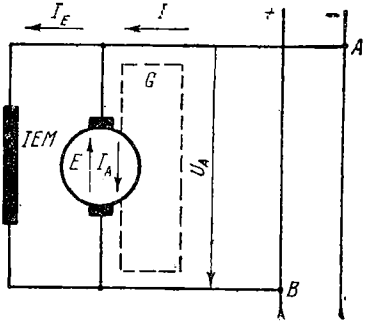


Fig. 2.20. Schema de conectare a motorului de curent continuu cu excitația în derivație.

unde: k_M este o constantă caracteristică motorului;

I_A — curentul rotoric;

Φ — fluxul creat de înfășurarea de excitație.

Dacă cuplul dezvoltat de motor este mai mare decît cuplul rezistent, rotorul va accelera pînă cînd cele două cupluri devin egale. Din acest moment mișcarea devine uniformă.

Datorită faptului că înfășurarea rotorică se rotește în cîmpul polilor de excitație, în spirele acestuia se induce o tensiune contraelectromotoare dată de relația

$$E = -k_E n \Phi, \tag{2.27}$$

unde: k_E este o constantă a motorului;

n — turația motorului.

Semnul minus arată că tensiunea contraelectromotoare are sensul invers curentului absorbit, I_A.

Ecuația de funcționare a motorului se poate deduce egalînd cu zero suma tensiunilor pe conturul închis G (fig. 2.20).

$$R_A I_A + \Delta U_P - U_A - E = 0, \tag{2.28}$$

unde: $R_A I_A$ este căderea de tensiune în înfășurarea rotorică;

ΔU_P — căderea de tensiune la perii;

U_A — tensiunea aplicată înfășurării rotorice;

E — tensiunea contraelectromotoare.

Neglijînd căderea de tensiune la perii ΔU_P și înlocuind în relația (2.28) expresia lui E dată de (2.27) se obține turația n

$$n = \frac{U_A - R_A I_A}{k_e \Phi}. \tag{2.29}$$

În timpul funcționării motorului pot varia mărimile: U_A, I_A, n, I_E. Dependența a două din aceste mărimi, la menținerea constantă a celorlalte două, se numește *caracteristică*. Principalele caracteristici ale motoarelor sînt: caracteristica vitezei de mers în gol, caracteristica vitezei de mers în sarcină, caracteristica mecanică.

Pentru acționarea mașinilor-unelte cea mai importantă este caracteristica mecanică, care se definește ca dependența turației de cuplul rezistent atunci cînd $\Phi = \text{const} = \Phi_N$ și $U_A = \text{const} = U_{AN}$.

Între cuplul rezistent M_r și cuplul M dezvoltat de motorul electric se poate scrie relația

$$M - M_r - M_M - M_{Fe} = J \frac{d\omega}{dt}, \tag{2.30}$$

unde: M_M este momentul frecărilor mecanice;

M_{Fe} — momentul datorat pierderilor în întrefierul motorului;

$J \frac{d\omega}{dt}$ — momentul datorat accelerației.

În regim uniform de rotație $J\frac{d\omega}{dt}=0$ iar M_M și M_{Fe} sînt relativ mici și deci $M \simeq M_r$. Prin urmare, alura caracteristicii mecanice este aceeași cu a dependenței turației de cuplul motor, adică $n=f(M)$.

Înlocuind în relația (2.29) I_A determinat din (2.26) se găsește

$$n=\frac{U_A}{k_e\Phi}-\frac{R_A}{k_e k_M \Phi^2}M. \tag{2.31}$$

Deoarece $\frac{U_A}{k_e\Phi}$ reprezintă turația de mers în gol, n_0, iar $\frac{R_A}{k_e k_M \Phi^2}$ este o constantă, K, relația (2.29) poate fi scrisă sub forma

$$n=n_0-KM. \tag{2.32}$$

Ecuația (2.32) reprezintă caracteristica mecanică a motorului de curent continuu cu excitația în derivație, care într-un sistem de coordonate n, M este o dreaptă înclinată față de axa M (fig. 2.21).

O asemenea caracteristică, la care turația în sarcină scade foarte puțin (cîteva procente) față de turația de mers în gol, este denumită *caracteristica dură*. Motorul cu excitația în derivație are caracteristica dură în timp ce motorul cu excitația în serie are *caracteristica moale*. Acesta este motivul pentru care primul tip de motor este frecvent utilizat la acționarea mașinilor-unelte.

Scăderea turației cu mărimea cuplului se caracterizează prin alunecarea relativă dată de relația $s=\frac{n_0-n}{n_0}$. Înlocuind în relația alunecării relative nominale $\left(s_N=\frac{n_0-n_N}{n_0}\right)$ turația nominală $n_N=U_{AN}/k_e\Phi_N-R_AI_{AN}/k_e k_M\Phi_N$ și turația de mers în gol $n_0=U_{AN}/k_e\Phi_N$, se obține

$$s_N=\frac{R_AI_{AN}}{U_{AN}}.$$

Prin urmare, alunecarea nominală este direct proporțională cu rezistența rotorică și curentul nominal absorbit de acesta și invers proporțional cu tensiunea nominală de alimentare. Alunecarea nominală variază între 1 și 6%, în funcție de puterea motorului.

Datorită faptului că alunecarea este mică, cuplul maxim dezvoltat de motorul de curent continuu cu excitația în derivație este de 15...20 ori mai mare decît cuplul nominal. Supraîncărcarea motorului este însă limitată de apariția scînteilor la perii. Din acest motiv suprasarcina admisibilă are valoarea

$$\lambda=\frac{M_{max}}{M_N}=2\ldots 2{,}5.$$

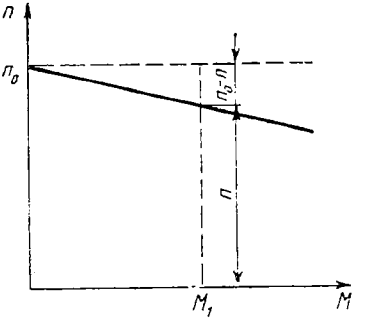


Fig. 2.21. Caracteristica mecanică a motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație.

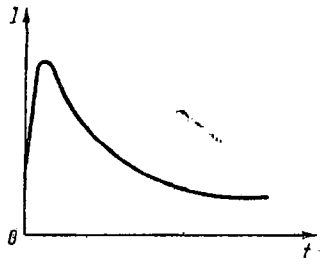


Fig. 2.22. Variația curentului la pornirea motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație.

2.2.2. PORNIREA ȘI INVERSAREA DE SENS A MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU

În momentul pornirii, motoarele de curent continuu absorb un curent de cîteva ori mai mare (fig. 2.22) decît curentul nominal. Acest șoc de curent, deși de scurtă durată (de ordinul secundelor), este uneori periculos pentru rețeaua electrică care nu poate să-l suporte și este întotdeauna periculos pentru motor, din cauza comutației cu totul defavorabile. Odată cu șocul de curent are loc un șoc de cuplu care este preluat de organele mașinii-unelte (cutie de viteze, cutie de avansuri etc.).

Aceste neajunsuri se evită prin legarea în serie cu înfășurarea rotorică a unui reostat de pornire, care micșorează curentul rotoric la valoarea admisibilă $I_{Apmax} = (1{,}8 \ldots 2{,}5)\, I_{AN}$. Valoarea rezistenței acestui reostat se alege astfel încît în momentul conectării la rețea curentul maxim să aibă valoarea

$$I_{Apmax} = \frac{U_N}{R},$$

unde $R = R_A + \sum_{i=1}^{K} R_i$ este rezistența totală din circuitul rotoric compusă din rezistența rotorică R_A și suma celor K rezistențe ale reostatului (fig. 2.23).

În perioada pornirii, pentru a obține o accelerare constantă, căderea curentului se limitează între I_{Apmax} și $I_{Apmin} = (1{,}1 \ldots 1{,}2)\, I_{AN}$.

Pentru aceasta, rezistența din circuitul rotorului se micșorează în trepte, scurtcircuitînd pe rînd rezistențele reostatului în momentul în care cuplul de accelerație ajunge la valoarea minimă M_{min} (corespunzătoare curentului I_{Apmin}). Scurtcircuitarea treptelor reostatului se efectuează cu ajutorul contactelor C (fig. 2.22) comandate manual sau cel mai frecvent automat.

Prin introducerea unei rezistențe suplimentare în serie cu rezistența rotorică, caracteristica mecanică se înclină cu atît mai mult cu cît valoarea acesteia este mai mare. O asemenea caracteristică poartă numele de *caracteristică artificială*, iar turația motorului în acest caz este dată de relația

$$n = n_0 - \frac{R}{k_e k_M \Phi^2} M. \qquad (2.33)$$

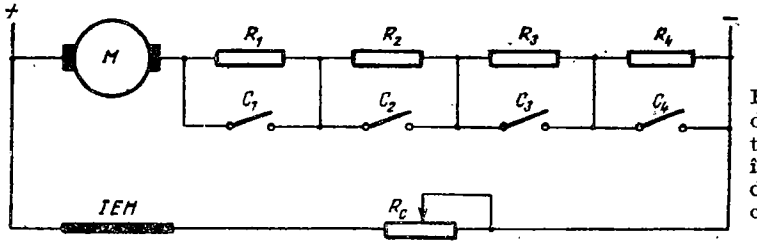


Fig. 2.23. Schema de conectare a rezistențelor de pornire în cazul motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație.

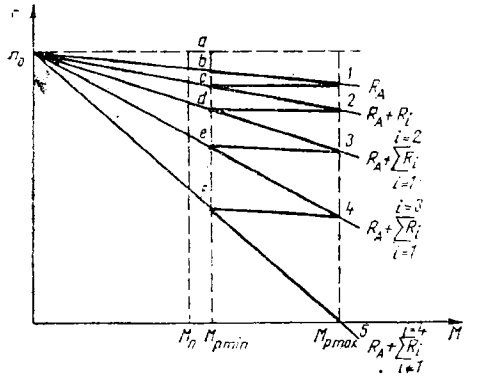


Fig. 2.24. Caracteristicile mecanice folosite la pornirea motoarelor de curent continuu cu excitaţia în derivaţie.

Diagrama de pornire a motorului derivaţie este reprezentată în figura 2.24, unde dreapta *1* este caracteristica naturală iar *2*. . .*5* caracteristicile artificiale.

În momentul iniţial toate contactele *C* sînt deschise şi cele patru rezistenţe sînt legate în serie cu R_A iar motorul funcţionează pe caracteristica artificială notată cu *5*. Cuplul maxim dezvoltat de motor la pornire este egal cu $M_{p\,max}$, după care acesta scade iar turaţia creşte. Cînd cuplul atinge valoarea $M_{p\,min}$, contactul C_4 se închide scurtcircuitînd rezistenţa R_4. În acest moment curentul şi cuplul dezvoltat de motor înregistrează un nou şoc, acesta din urmă ajungînd la valoarea $M_{p\,max}$. Motorul funcţionează în continuare pe caracteristica artificială *4*, care este mai puţin înclinată decît *5*, deoarece rezistenţa suplimentară din circuitul rotoric este mai mică.

În acest mod se scurtcircuitează rînd pe rînd toate rezistenţele reostatului şi în final motorul va funcţiona pe caracteristica naturală (caracteristica notată cu *1*).

Pentru ca în perioada pornirii cuplul să aibă valori între $M_{p\,min}$ şi $M_{p\,max}$ este necesar să fie îndeplinite condiţiile:

— să se calculeze corect rezistenţele reostatului;

— deconectarea rezistenţelor să se facă la timp.

Rezistenţele diferitelor trepte ale reostatului se pot calcula avînd în vedere că în timpul funcţionării motorului cu un cuplu constant, de exemplu $M_{p\,min}$ turaţia acestuia scade cu valoarea

$$\Delta n_i = n_0 - n_i = \frac{R}{k_e k_M \Phi^2} M_{p\,min} = kRM_{p\,min}, \qquad (2.34)$$

unde n_i este turaţia motorului la cuplul $M_{p\,min}$ la funcţionarea pe caracteristica *i*.

Prin modificarea rezistenţei *R* din circuitul rotoric, la aceeaşi valoare a cuplului, vor corespunde diferite valori Δn proporţionale cu această rezistenţă. Rezultă că segmentele *ab, ac, ad, ae, af* (fig. 2.23), care reprezintă valorile căderii turaţiei $\Delta n_1 - \Delta n_5$, la aceeaşi valoare a cuplului, sînt proporţionale cu rezistenţa totală din circuitul rotoric.

Din (2.34) rezultă:

$$\frac{\Delta n_1}{R_A} = \frac{\Delta n_2}{R_A + R_1} = \frac{\Delta n_3}{R_A + R_1 + R_2} = kM_{p\,min}$$

sau

$$\frac{ab}{R_A} = \frac{ac}{R_A + R_1} = \frac{ad}{R_A + R_1 + R_2} = \dots$$

$$\dots = \frac{af}{R_A + \sum_{i=1}^{i=4} R_i} = kM_{p\,min}. \qquad (2.35)$$

Cunoscînd sau determinînd rezistența rotorică R_A și măsurînd la scară segmentele *ab*, *ac*,... *af*, din (2.35) se pot găsi rezistențele reostatului $R_1 \dots R_4$.

Deconectarea succesivă din circuitul indusului a treptelor reostatului se poate efectua manual sau automat. La pornirea manuală operatorul se ghidează după indicațiile date de ampermetrul legat în circuitul indusului. Întrucît în asemenea situații pot apărea greșeli, în prezent pornirea motoarelor derivație care acționează mașinile-unelte se realizează cu un sistem automat de comandă. Aceasta permite respectarea riguroasă a condițiilor de pornire evitînd efectuarea unor operații complicate de către operator.

Comanda automată a pornirii poate fi realizată în funcție de viteză, curent (sarcină) și de timp. Ultima metodă prezintă mai multe avantaje și de aceea se folosește cel mai frecvent.

Pentru inversarea sensului de rotație, la motor este necesar să se inverseze sensul cuplului M dezvoltat de acesta. Din relația (2.26) rezultă că M are sensul (semnul) schimbat atunci cînd curentul rotoric sau fluxul de excitație își schimbă sensul. Prin urmare, reversarea la motorul derivație se realizează fie prin inversarea alimentării circuitului rotoric, fie a circuitului de excitație.

Inversarea în același timp a sensului curentului rotoric și a fluxului de excitație nu duce la inversarea sensului de rotație deoarece semnul cuplului dezvoltat de motor nu se schimbă.

2.2.3. REGLAREA TURAȚIEI MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU

Utilizarea motoarelor de curent continuu la mașinile-unelte este în principal determinată de posibilitatea reglării continue a turației lor și prin urmare a turației ultimului mecanism din lanțul cinematic antrenat.

La efectuarea oricărei operații de prelucrare (frezare, strunjire etc.) există o viteză optimă de așchiere, care depinde de tipul prelucrării, materialul piesei prelucrate și al părții așchietoare a sculei, de mărimea avansului și a adîncimii de așchiere. Pentru a rezulta o productivitate maximă este necesar ca pentru oricare operație de prelucrare, mașina-unealtă să asigure această viteză optimă de așchiere.

Prin urmare, ideal ar fi ca la toate mașinile-unelte să existe posibilitatea reglării continue a vitezei de așchiere. În realitate numai unele mașini-unelte au această posibilitate din cauza complexității mecanismelor de reglare continuă a turației.

Cel mai frecvent, reglarea continuă a turației se întîlnește la mașinile-unelte grele (strunguri carusel, strunguri frontale etc.), deoarece aici apar cazuri cînd trebuie păstrată constantă viteza optimă de așchiere în condițiile

variației continue a diametrului la care se prelucrează. Astfel, la strunjirea suprafețelor frontale cu diametru mare, raza la care se așchiază variază continuu, ceea ce duce la variația vitezei de așchiere. Numai printr-o reglare a turației piesei se poate menține viteza de așchiere la valoarea optimă.

Reglarea continuă a turației, utilizînd motoare de curent continuu cu excitație separată sau în derivație, se efectuează și la mașinile-unelte cu comandă numerică produse în ultima perioadă.

Din relația (2.31) se observă că reglarea turațiilor motoarelor derivație se poate realiza prin trei metode: variația fluxului inductor, Φ, variația tensiunii de alimentare U_A și variația rezistenței din circuitul indusului.

Se cunoaște că puterea unui motor de curent continuu este dată de relația

$$P = \frac{UI_A}{1\,000} \text{ [kW]}, \tag{2.36}$$

unde: U este tensiunea de alimentare, în V;

I_A — curentul rotoric, în A.

Deoarece curentul maxim admisibil I_A este același la toate turațiile, din relația (2.36) se observă că dacă tensiunea U este constantă și puterea P rezultă constantă. Întrucît tensiunea U rămîne constantă numai la metoda de reglare a turației prin varierea fluxului inductor, rezultă că aceasta este o reglare la putere constantă.

Prin reglare la putere constantă se înțelege că puterea maximă ce o poate dezvolta motorul este aceeași la orice turație.

Cuplul motorului derivație dat de relația (2.26) rămîne constant dacă Φ = const. Prin urmare, metodele de reglare a turațiilor la care fluxul inductor rămîne constant sînt metode reglare la cuplul constant.

Reglarea turației prin varierea fluxului inductor se realizează prin introducerea unui reostat în circuitul de excitație al motorului (fig. 2.25), cu care se variază curentul de excitație și deci fluxul de excitație. Modificarea fluxului se face în sensul descreșterii, deoarece motoarele la turația nominală funcționează saturate. Din relația (2.29) rezultă că prin micșorarea fluxului Φ se obțin turații mai mari decît turația nominală. Deoarece coeficientul K crește la micșorarea fluxului Φ, caracteristicile artificiale vor fi cu atît mai înclinate cu cît Φ este mai mic (fig. 2.26).

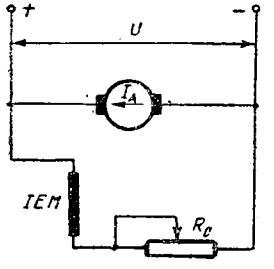


Fig. 2.25. Schema de reglare a fluxului la motoarele de curent continuu cu excitația în derivație.

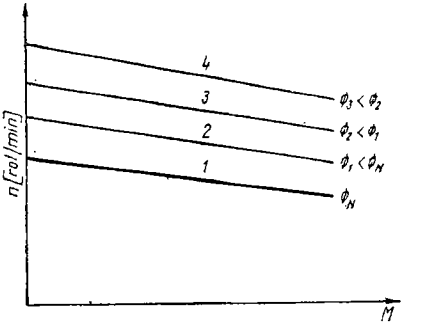


Fig. 2.26. Caracteristici artificiale obținute la reglarea turației prin variația fluxului motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație.

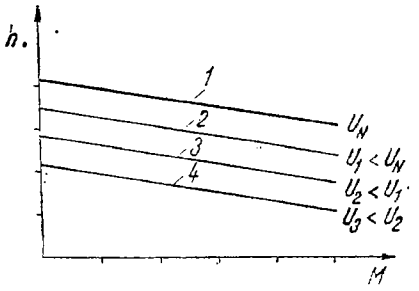


Fig. 2.27. Caracteristici artificiale obținute prin variația tensiunii de alimentare a motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație.

Limita de slăbire a fluxului este determinată de reacția indusului care se manifestă prin apariția scînteilor la perii. De aceea turația se poate varia pînă la maximum 5: 1.

O altă posibilitate de variere a fluxului la motoarele cu excitație separată constă în alimentarea înfășurării de excitație de la o sursă separată de curent continuu. Această soluție se întîlnește la utilizarea sistemelor tiristorizate, sisteme ce au căpătat o mare răspîndire în ultima perioadă.

Datorită faptului că atît pierderile de energie în reostat cît și investițiile pentru această instalație sînt mici, metoda de reglarea turației prin varierea fluxului este frecvent întîlnită la mașinile-unelte.

Reglarea turației prin variația tensiunii de alimentare se utilizează atunci cînd este nevoie de o reglare a turației în limite largi. În acest caz este nevoie de o sursă proprie de alimentare a motorului, ceea ce reprezintă o soluție complicată. De aceea, frecvent, reglarea turației după această metodă se realizează atunci cînd motorul face parte din grupuri speciale de reglaj, construite din mai multe mașini electrice (grupul generator-motor, sisteme cu amplidină etc.) prin folosirea regulatoarelor tiristorizate sau a amplificatoarelor magnetice.

Prin varierea tensiunii de alimentare se obțin turații mai mici decît turația nominală. Caracteristicile artificiale sînt situate în acest caz sub caracteristica naturală (fig. 2.27). Domeniul de reglare ce se obține prin această metodă este cu mult mai mare decît prin metoda precedentă.

Reglarea turației prin introducerea unui reostat în circuitul rotoric se bazează pe obținerea unor caracteristici artificiale cu o înclinare mai mare decît caracteristica naturală (vezi pornirea motoarelor derivație).

Dezavantajele importante ale acestei metode de reglare a turației sînt: puterea, care este proporțională cu turația, va fi cu atît mai mică cu cît turația este mai mică, deci un randament scăzut; este o metodă foarte neeconomică deoarece pierderile de energie în reostat sînt mari și în același timp reostatul este voluminos și scump.

Din cauza dezavantajelor arătate, această metodă nu se folosește la reglarea turațiilor mașinilor-unelte acționate cu motoare derivație.

2.3. MOTOARE ELECTRICE CU ÎNTREFIER AXIAL (AXEM)

Aceste motoare se caracterizează în special prin aceea că armăturile rotorică și statorică mărginesc un întrefier axial plan spre deosebire de cazul motoarelor clasice unde întrefierul este radial cilindric (fig. 2.28).

Aceste motoare au rotorul sub formă de discuri plate cu înfășurările rotorice realizate din conductoare lamelare neizolate, dispuse de o parte și de

alta sau numai de o parte a feţelor plane a unui disc subţire. Din aceste motive motoarele respective au inerţie redusă. Colectorul nu există ca element separat ci înseşi conductoarele plate ale indusului, pe care alunecă perii, îndeplinesc rolul colectorului.

Sistemul inductor este format, de regulă, din magneţi permanenţi construiţi din ferită anizotropă, formînd un inel plat magnetizat multipolar sau magneţi independenţi alternaţi ca polaritate, care sînt aşezaţi pe o armătură de oţel. Pentru punerea în funcţiune a motorului este suficient ca rotorul să fie alimentat cu tensiune continuă.

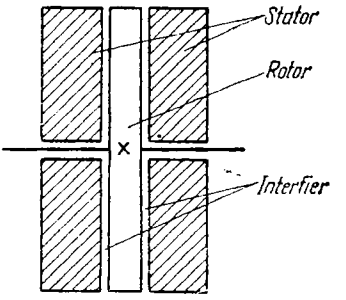


Fig. 2.28. Schema motorului cu întrefier axial (AXEM).

Principalele avantaje ale motoarelor cu întrefier axial sînt următoarele:

— sînt simple şi cuprind un număr limitat de piese componente;

— puterea specifică (raportată la greutate) este relativ mare;

— gamă largă de turaţii deoarece rotorul are greutatea redusă iar comutaţia este bună chiar la suprasarcină şi viteze mari;

— caracteristicile mecanice sînt riguros liniare şi perfect continue chiar la viteză redusă;

— randamentul relativ ridicat, deoarece pierderile mecanice sînt reduse iar cele electrice în sistemul inductor sînt nule;

— greutate redusă în comparaţie cu motoarele clasice;

— eliminarea transmisiei mecanice intermediare la sistemele cu turaţie redusă.

Datorită faptului că indusul motoarelor de curent continuu cu întrefier axial nu conţine materiale feromagnetice şi se află într-un întrefier perfect neted, care are o valoare mai mare decît la motoarele electrice clasice de aceeaşi putere, acestea prezintă următoarele particularităţi: reacţia indusului este mică şi lipseşte pulsaţia fluxului magnetic, ceea ce duce la o comutaţie perfectă în asemenea motoare.

Din cauza lipsei oricărei neliniarităţi asupra funcţionării motorului, caracteristicile sale mecanice sînt rectilinii. Astfel, caracteristica mecanică este dată de relaţia

$$\Omega = \frac{U - 2\Delta U_p}{K} - \frac{R_A}{K^2} M,$$

în care: Ω este viteza unghiulară a rotorului;

U — tensiunea de alimentare;

ΔU_p — căderea de tensiune la perii;

R_A — rezistenţa înfăşurării indusului;

$K = \frac{pN}{2a} \Phi$ — constantă constructivă;

p — numărul perechilor de poli;

N — numărul conductoarelor din înfăşurarea indusului;

a — numărul perechilor de căi în paralel;

Φ — fluxul magnetic util produs de un pol.

Motorul de curent continuu cu întrefier axial se utilizează de regulă în lanțurile cinematice ale mașinilor-unelte la care este necesară o turație reglabilă într-un domeniu larg. Reglarea se realizează prin varierea tensiunii de alimentare a indusului. Cuplul activ al motorului este o funcție liniară de turație iar cuplul de pornire este proporțional cu tensiunea de comandă.

2.4. MOTOARE ELECTRICE PAS CU PAS

Motoarele pas cu pas sînt mașini electrice sincrone modificate, ale căror înfășurări de comandă se alimentează cu un sistem multifazat cu impulsuri de tensiune dreptunghiulară, avînd rotorul executat fără înfășurări auxiliare de pornire.

Se deosebesc două tipuri de bază ale acestor motoare, și anume:

Motoarele pas cu pas de tip reactiv, care au rotorul sub forma unui cilindru dințat executat din material feromagnetic. Statorul are, de asemenea, dinți la suprafața interioară și este prevăzut cu înfășurări de excitație care se alimentează cu impulsuri dreptunghiulare de tensiune, avînd frecvență ridicată (sute de Hz).

Datorită faptului că se execută cu un pas mic, ajungînd la un grad, aceste motoare se întîlnesc mai frecvent la acționarea mașinilor-unelte.

Motoarele pas cu pas de tip activ au rotorul cu magneți permanenți sau electromagneți cu înfășurări de excitație, ale căror capete sînt scoase la inele colectoare. Înfășurarea statorică permite formarea unui număr de poli egal cu cel al rotorului. Din motive constructive (magneții permanenți sau electromagneții nu pot fi prea mult micșorați), acest tip de motoare se execută cu pași mai mari decît motorul de tip reactiv. Aceasta este explicația că motoarele de acest tip nu și-au găsit o utilizare prea mare la mașinile-unelte.

Cele două tipuri de bază se mai clasifică în: *motoare pas cu pas polifazate*, care au un stator și mai multe înfășurări de comandă, și *motoare pas cu pas polistatorice*, care au mai multe statoare fiecare din ele avînd cîte o înfășurare de comandă.

În cele ce urmează se vor prezenta motoarele pas cu pas reactive care au aplicații în acționarea mașinilor-unelte și în special a celor comandate numeric.

Funcționarea unui motor polistatoric se va explica pe un motor reactiv avînd trei statoare. Fiecare stator, executat din pachete de tole, are circuitul magnetic realizat sub formă de poli aparenți (dinți) distribuiți uniform pe circumferința statorică. Cele trei statoare sînt așezate coaxial, avînd polii pe aceeași generatoare.

Cele trei rotoare sînt executate din pachete de tole avînd același număr de poli (dinți) ca și statorul. Spre deosebire de statoare, aici nu există înfășurări, iar cele trei rotoare sînt coaxiale, avînd dinții decalați între ei cu 1/3 pași polari. La alimentarea înfășurării statorului cu un impuls pozitiv de tensiune, pe circumferința acestuia se formează o succesiune de poli nord N sud S. Din acest motiv, rotorul se va roti în sensul invers acelor de ceasornic, astfel încît reluctanța circuitului magnetic să fie minimă și deci polii (dinții) rotorului *1* se vor așeza în fața polilor statorului *1* (fig. 2.29). În același timp

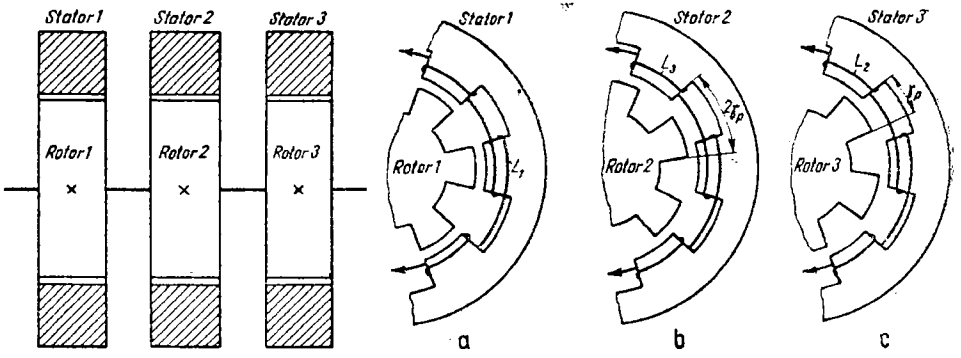


Fig. 2.29. Schema motoarelor pas cu pas polistatorice:
a — poziția relativă a rotorului în raport cu statorul *1*; *b* — poziția relativă a rotorului în raport cu statorul *2*; *c* — poziția relativă a rotorului în raport cu statorul *3*.

polii statorului *2* și *3* nu corespund cu polii rotoarelor respective. Prin decuplarea înfășurării statorului *1* (*L1*) și cuplarea înfășurării statorului *2* (*L2*), rotorul se rotește invers acelor de ceasornic cu unghiul γ_p. Pentru ca motorul să execute următorul pas se decuplează înfășurarea statorului *2* (*L2*) și se cuplează înfășurarea statorului *3* (*L3*). Dacă se continuă operația, decuplîndu-se înfășurarea statorului *3* (*L3*) și cuplîndu-se înfășurarea statorului *1* (*L1*), rotorul ajunge în poziția dată în figura 2.29, *a* deci s-a rotit cu un unghi egal cu $3\gamma_p$. Așadar, prin alimentarea în ordine a înfășurărilor statorice *L1*, *L2*, *L3*, *L1*, rotorul se rotește într-un sens cu o viteză determinată de frecvența impulsurilor de tensiune aplicate. Pentru inversarea sensului de rotație se schimbă ordinea alimentării pentru două înfășurări statorice, de exemplu *L1* cu *L2*. Prin urmare, pentru rotirea motorului în sens invers este necesar să se alimenteze în ordinea înfășurărilor *L2*, *L1*, *L3*, *L2* etc.

Motoarele pas cu pas au următoarele mărimi caracteristice:

● Pasul motorului, care reprezintă unghiul de rotație al rotorului corespunzător unui tact de comandă.

● Cuplurile limită: *b1* — cuplul critic cvasistaționar definit ca valoarea maximă la care se poate mări cuplul rezistent la o frecvență de comandă dată, fără a cauza ieșirea din sincronism a motorului (pierderea pașilor); la frecvențe de comandă mai mari cuplul critic cvasistaționar scade; *b2* — cuplul critic de pornire care reprezintă valoarea maximă a cuplului rezistent, la o frecvență dată, la care motorul poate porni fără pierderi de pași; *b3* — cuplurile critice de oprire și reversare, care se definesc în același mod ca și la cuplul critic de pornire.

● Frecvența nominală de lucru și frecvența maximă admisibilă a impulsurilor de comandă, care determină turația nominală și turația maximă de lucru.

Motoarele reactive se execută atît cu mai multe statoare, cînd pe fiecare stator este dispusă cîte o înfășurare de comandă, cît și cu mai multe înfășurări de comandă, dispuse pe un singur stator.

Motoarele din prima categorie au primit o largă răspîndire datorită performanțelor ridicate: pas unghiular suficient de mic și cupluri peste 1 daN.m. Aceste motoare se construiesc în varianta cu trei, patru și cinci statoare. Astfel, motoarele Digitork fabricate în S.U.A. compuse din trei statoare

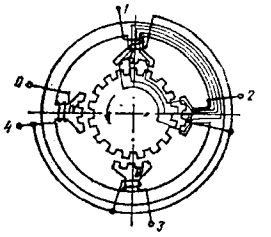


Fig. 2.30. Schema motoarelor pas cu pas polifazate.

au pasul 6°, cuplul maxim 1,84 daN.m, cuplul nominal 1,15 daN.m și lucrează la o frecvență nominală de 500 Hz, ceea ce corespunde la viteza nominală de 300 rot/min.

Firma Fujițu (Japonia) fabrică motoare cu cinci statoare avînd pasul unghiular 1,5°, cuplul nominal 15 daN.cm, frecvența maximă admisibilă 8 000 Hz, care corespunde la viteza de aproximativ 1 990 rot/min.

O dezvoltare accentuată au căpătat în ultima perioadă motoarele polifazate cu un stator, în special datorită faptului că acestea pot realiza pași mult mai mici, ajungînd pînă la fracțiuni de grad.

Pentru asigurarea inversării sensului de rotație sînt necesare minimum trei înfășurări de comandă. Se utilizează însă mai mult motoarele avînd patru înfășurări de comandă deoarece prezintă mai multe avantaje, dintre care amintim următoarele: cuplul de pornire este 0,75 M_{max} față de 0,5 M_{max} la motoarele cu trei înfășurări, pentru aceeași valoare a pasului, au numărul de dinți și diametrul rotorului mai mic, ceea ce asigură o funcționare mai bună la regimuri tranzitorii.

Un motor reactiv cu patru înfășurări de comandă cu circuit magnetic nesimetric constă dintr-un stator cu patru poli aparenți, pe care sînt dispuse cele patru înfășurări de comandă (fig. 2.30).

Pe suprafața tălpilor polilor statorici sînt tăiați un număr de dinți. Rotorul este sub forma unui cilindru executat din material feromagnetic și avînd dinți repartizați uniform pe circumferință, a căror lățime este egală cu lățimea dinților statorici.

Prin alimentarea înfășurării de comandă *1* rotorul se rotește sub acțiunea cuplului reactiv și ocupă poziția în care reluctanța magnetică este minimă, adică dinții rotorici sînt în dreptul dinților polului *I*. Dinții rotorici care se găsesc sub polul *II* sînt în acest moment decalați față de dinții polului respectiv cu 1/4 din pas. Dinții care se găsesc sub polii *III* și *IV* sînt decalați cu 2/4 și respectiv 3/4 față de dinții polilor corespunzători. Prin comutarea alimentării, de la înfășurarea *1* la înfășurarea *2*, rotorul se rotește cu un unghi γ_p și ocupă poziția corespunzătoare reluctanței magnetice minime a întrefierului de sub polul *II*. Alimentînd în ordine apoi înfășurările *3* și *4* se produce același fenomen. Prin urmare, dacă se alimentează cele patru înfășurări în ordine, rotorul se va roti în sensul săgeții cu o turație corespunzătoare frecvenței impulsurilor de comandă.

Avantajul motoarelor de acest tip constă în faptul că dezvoltă un cuplu mai mare pe unitatea de greutate în comparație cu motoarele de sistem magnetic simetric. Dezavantajul constă în existența unor cupluri cu frecări suplimentare în lagăre și a unui zgomot în funcționare, cauzat de existența unor forțe magnetice de atracție nesimetrice.

3

MAȘINI ELECTRICE SPECIALE UTILIZATE ÎN ACȚIONAREA MAȘINILOR-UNELTE

3.1. MOTOARE DE CURENT ALTERNATIV CU COLECTOR

Unul din indicii calitativi importanți ai mașinii-unelte este productivitatea ei. Referindu-ne doar la productivitatea tehnologică a mașinii K, aceasta este cu atît mai mare cu cît timpul de lucru t_l este mai mic. Rezultă că, pentru o prelucrare dată, timpul este minim dacă mașina poate asigura viteza obținută din calcul. Pentru a putea dispune de foarte multe viteze cu o distanță între ele (saltul de turație) cît mai mică, schema cinematică trebuie să fie foarte complicată. Dar cu cît schema de antrenare a arborelui principal este mai complexă, cu atît prețul de cost al mașinii este mai ridicat, precizia ei globală mai scăzută și randamentul mecanic mai mic.

Utilizarea reglării continue a turațiilor rezolvă parțial sau total, în funcție de metoda adoptată, dezideratele de mai sus. Astfel, variatoarele mecanice, înlocuind cutia de viteze în trepte, asigură o reglare continuă a turațiilor. Dar, pe lîngă faptul că sînt complicate, avînd uzură mare și zgomot în funcționare, ele au posibilități reduse de reglare. Sistemele cu motoare de curent continuu, cu grup generator-motor, prezintă, după cum s-a văzut, o serie de dezavantaje din care pricină utilizarea lor este totuși limitată. Printre acestea cele mai importante sînt randamentul foarte scăzut la limitele inferioare de turație și domeniul de reglare relativ mic. Acționarea ionică, în prezent puțin răspîndită, prezintă de asemenea dezavantaje, în special în securitatea lucrului și spațiul mare ocupat. Acționarea cu amplidină poate fi folosită doar pentru puteri reduse, de ordinul a cîțiva kW.

În fine, acționarea cu sisteme electronice cu tiristoare sau triacuri, foarte actuală, este însă mai puțin răspîndită în special pentru puteri mari. În afară de complexitatea deosebită a acestor sisteme, sînt de menționat de asemenea fiabilitatea lor mai redusă și randamentul lor scăzut.

În afară de antrenarea lanțului cinematic principal, în special în cazul mașinilor-unelte grele, se impune antrenarea cu viteze variabile și a lanțului cinematic de avansuri, fie că este vorba de avans continuu sau avans discontinuu.

În acest sens, motoarele de curent alternativ clasice, după cum s-a văzut, oferă puține posibilități de reglare și de cele mai multe ori doar în trepte.

Motoarele de curent alternativ cu colector se pot regla în limite largi, la cuplu constant, cu aparatură de reglaj simplă. Ele se recomandă în cazurile în care cuplul de pornire este mare, cînd schema cinematică pe care o înlo-

cuiesc este complexă. Avînd o caracteristică rigidă, în special în domeniul turațiilor superioare, ele își menține turația aleasă chiar la variația cuplului rezistent.

Constructiv, motoarele cu colector sînt asemănătoare celor de curent continuu cu deosebirea că miezul magnetic este confecționat din tole, în scopul reducerii încălzirii prin curenți turbionari. Ele sînt extrem de complicate, atît în ceea ce privește proiectarea lor, cît mai ales construcția și experimentarea. Valoarea mare a alunecării (comparativ cu cea a motoarelor asincrone), ca și elasticitatea mare a curbelor caracteristice în domeniul turațiilor reduse, sînt alte dezavantaje ale acestor motoare. Avantajele cele mai importante ale motoarelor de curent alternativ cu colector sînt: domeniul mare de reglare a turațiilor, posibilitatea de alimentare directă de la rețeaua de curent alternativ (50 Hz), factor de putere bun (apropiat de unitate), randament ridicat de utilizare a energiei electrice.

3.1.1. MOTOARE DE CURENT ALTERNATIV MONOFAZATE CU COLECTOR

Astfel de motoare se utilizează pentru puteri de pînă la 500 W.

După cum s-a arătat, aceste motoare seamănă constructiv cu motoarele de curent continuu (v. cap. 2), adică au un stator, pe care se găsesc înfășurările de excitație, și un indus, prevăzut cu înfășurări legate la un colector prin care se alimentează de la rețeaua de curent alternativ. Motorul care poate fi alimentat atît în curent continuu cît și în alternativ se numește *motor universal*. Înfășurarea statorică fiind legată în serie cu cea rotorică, schimbarea sensului de rotație se face prin schimbarea sensului curentului în una din înfășurări, adică prin legarea inversă a legăturilor uneia din înfășurări (stator sau rotor).

Reglarea turației se face prin reglarea intensității curentului care parcurge cele două înfășurări (fig. 3.1, *a* și *b*).

Reglînd curentul cu reostatul *R*, simultan pentru ambele circuite, funcționarea motorului este instabilă în domeniul turațiilor mici. Acest lucru se explică prin faptul că fluxul de excitație scade foarte mult. Utilizîndu-se așa-zisa legare Barkhausen, adică reglarea curentului numai în circuitul rotoric, se poate obține o funcționare stabilă a motorului și în domeniul turațiilor scăzute datorită menținerii curentului de excitație la o valoare constantă. Astfel de motoare se construiesc pentru turații maxime de 9 000 rot/min.

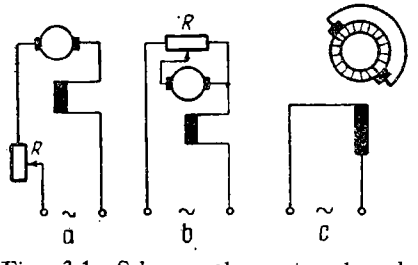


Fig. 3.1. Scheme ale motoarelor de curent alternativ monofazate cu colector: *a* — cu reglarea curentului în circuitul rotoric și statoric; *b* — cu reglarea curentului numai în circuitul statoric; *c* — motor cu repulsie.

Motoarele rapide sînt asemănătoare acestora, fiind însă construite pentru turații foarte ridicate (40 000 rot/min).

La uzinele Karl Zeiss—Jena a fost construit un motor pentru antrenarea directă a unei broșe de rectificat, cu turația de 20 000 rot/min la o putere de 1 kW. Turația scade cu numai 10% la o creștere a puterii cedate de 50%. Motorul funcționează cu un randament mediu bun (70%). Dimensiunile de gabarit ale motorului sînt reduse (diametrul interior 40 mm, cel exterior 90 mm),

astfel încît poate fi montat în interiorul broşei de rectificat, realizînd o construcţie foarte compactă.

Motoarele cu colector cu repulsie (fig. 3.1, *c*) se utilizează foarte puţin ca urmare a complexităţii lor constructive şi de exploatare. Principalul dezavantaj al motorului îl constituie existenţa comutatorului de scurtcircuitare a colectorului, de tip centrifugal. Ca avantaj esenţial al acestor motoare trebuie amintit cuplul mare de pornire ($M_p = 2{,}5\ M_n$) şi curentul de pornire relativ scăzut, comparativ cu alte motoare de curent alternativ ($I_p < 3\ I_n$).

3.1.2. MOTOARE TRIFAZATE CU COLECTOR CU ALIMENTARE ÎN ROTOR

Constructiv, motorul, cunoscut şi sub numele de *motor Schrage*, se compune dintr-un rotor şi un stator. Rotorul poartă înfăşurările rotorice (fig. 3.2), inelele colectoare pentru alimentarea rotorului şi colectorul (cu lamele) pentru alimentarea statorului. Înfăşurarea rotorică este formată din două înfăşurări separate pe fiecare fază. Prima înfăşurare, dispusă la fundul crestăturilor, constituie primarul unui transformator rotativ, cu înfăşurările fazice legate în triunghi. Înfăşurarea secundară, dispusă peste primar, este o înfăşurare cu prize mediane ale căror capete sînt legate cu lamelele colectorului. Tensiunea indusă în înfăşurarea secundară este culeasă de periile $A-B$ şi transmisă înfăşurărilor statorice *1 — 1', 2 — 2', 3 — 3'*. Poziţia reciprocă a periilor $A-B$ se reglează manual, cu ajutorul mecanismului cu roţi dinţate, sau cu servomotor. Rezultă că valoarea tensiunii aplicată înfăşurărilor statorice va depinde de poziţia periilor pe lamele, adică de numărul prizelor mediane din înfăşurarea secundară pe care le cuprind cele două perii A şi B. Poziţia lor reciprocă este caracterizată de unghiul β, tensiunea culeasă fiind U_r de frecvenţă relativă f_2. În funcţionarea motorului se disting trei situaţii:

— unghiul β pozitiv, motorul funcţionează într-un anumit sens, cu o turaţie mai mare decît cea sincronă corespunzătoare tensiunii culese din secundarul rotoric;

— unghiul $\beta = 0$, adică periile A şi B se găsesc pe aceeaşi lamelă, motorul lucrează în regim de motor asincron cu înfăşurarea indusului în scurt-

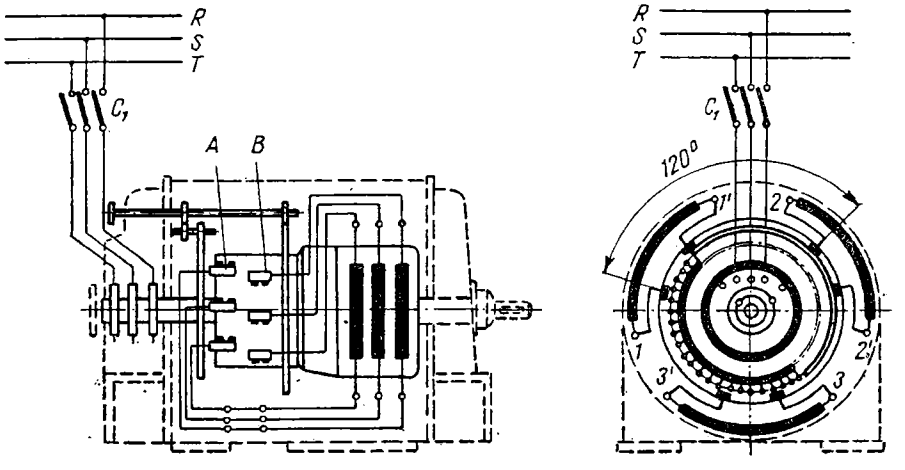


Fig. 3.2. Schema motorului cu colector tip Schrage.

circuit, cu o turație apropiată de cea de sincronism (alunecarea depinde de caracteristicile electrice ale înfășurărilor indusului, statorului);

— unghiul β negativ, adică peria A depășește peria B (în această situație, tensiunea electromotoare indusă și cea a părții de înfășurare cuprinsă între perii fiind de sensuri contrare, sensul de rotație se poate inversa).

Pentru o valoare a unghiului β pozitivă apropiată de zero, motorul lucrează la o turație egală cu cea de sincronism. Această poziție este însemnată pe mecanismul de reglare a turației cu mențiunea „A".

În mod teoretic, pentru o variație a unghiului β de $\pm 180°$, turația motorului variază între $\pm n_{max}$ și zero, în care $n_{max} = 2\,n_0$. Turații zero și foarte apropiate de zero nu se pot atinge din cauza solicitărilor electrice inadmisibil de mari la care sînt supuse colectorul și înfășurările rotorice. De aceea, turații sub cea minimă proiectată ($n_{min} = 0{,}5\ n_0$) nu se admit nici pentru fracțiuni extrem de mici de timp. De asemenea nu se poate atinge nici turația maximă $n_{max} = 2\,n_0$, din aceleași considerații. În mod normal s-a stabilit că turația maximă care poate fi atinsă este de $n_{max} = 1{,}5\,n_0$.

Motoarele de acest tip se fabrică în prezent pentru puteri nominale pînă la 200 kW.

O particularitate a acestui motor este variația curentului în funcție de cuplul rezistent. Astfel, curentul rotoric (la inele) variază proporțional cu variația cuplului aplicat la arborele motor, în schimb curentul din înfășurarea statorică rămîne constant.

Din acest punct de vedere ele se aseamănă cu motoarele de c.c. cu excitația derivație la care curentul din înfășurarea de excitație rămîne constant la variația cuplului. De aceea și caracteristicile mecanice ale acestor motoare sînt caracteristici tip derivație, adică sînt liniare, avînd un coeficient unghiular mic. Acesta nu rămîne însă constant, astfel că pentru diferite curbe, corespunzătoare diferitelor turații nominale, el ia anumite valori (distincte).

Funcționarea este similară cu cea a motorului cu excitație paralelă, la care modificarea turației se face prin reglarea excitației. Pentru exemplificare, în figura 3.3 se prezintă caracteristicile mecanice ale unui motor de tip Schrage de 37 kW în două situații:

a) pentru turația de 1 800 rot/min, căreia îi corespunde un unghi $\beta = -41°$ (electrice);

b) pentru turația de 2 300 rot/min, căreia îi corespunde un unghi $\beta = -132°$ (electrice).

Din analiza curbelor se desprinde faptul că valoarea curentului I este exponențial proporțională cu cuplul. În al doilea rînd se vede că turația

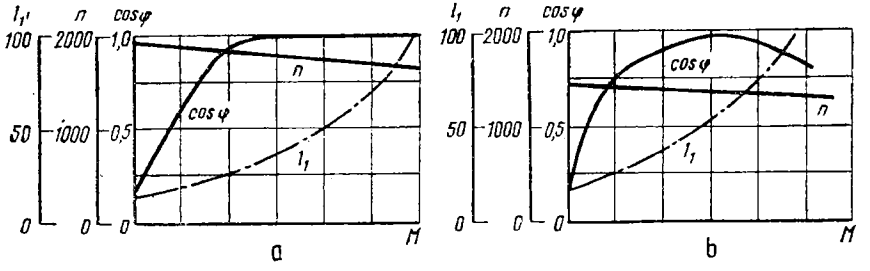


Fig. 3.3. Caracteristicile mecanice ale unui motor tip Schrage:
a — pentru turația $n = 1\,900$ rot/min; *b* — pentru turația $n = 2\,300$ rot/min.

scade puțin cu creșterea cuplului, adică avem de-a face cu o curbă rigidă. În fine, factorul de putere, cos φ, poate lua chiar valoarea maximă (unitate) pentru anumite valori ale cuplului.

În acest mod se explică de ce astfel de motoare sînt foarte potrivite pentru acționarea mașinilor-unelte, de ce sînt considerate mașini economice și, în fine, de ce factorul de putere al rețelei este bun. La turații sub cea de sincronism, la o reglare normală, randamentul motorului se înrăutățește. Acest lucru se înlătură pe calea reglării neuniforme a celor două perii, A și B, adică printr-o reglare nefazică, în paralel cu reglarea propriu-zisă în tensiune. Pe această cale randamentul obținut este superior motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, care lucrează în condiții de cuplu, putere și turații similare.

Comparativ cu alte tipuri de motoare reglabile prezintă avantajul curbelor rigide (de reglare) și o mare insensibilitate la fluctuația tensiunii din rețeaua de alimentare.

Avantajul principal al acestor motoare constă în faptul că nu necesită instalații exterioare pentru reglarea turației și nici reostate pentru pornire.

La fel ca în cazul motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație, pornirea motoarelor Schrage de putere mică (în acest caz pînă la 60 kW, spre deosebire de cele de curent continuu limitate la 1 kW) se face direct prin cuplare la rețea. Singura măsură de prevedere care trebuie luată este aceea ca turația să crească lent, de la minim la turația dorită. De fapt nici nu este admisă pornirea cu periile în altă poziție decît cea corespunzătoare turației n_{min} din cauza solicitărilor extrem de mari la care ar fi supuse înfășurările.

Se atinge astfel la pornire un cuplu $M_p = (2...2{,}5)\ M_n$ și un curent corespunzător de numai 1,6... 2,5 ori mai mare decît cel nominal, lucru care nu este posibil în cazul motoarelor asincrone la care curentul de pornire poate lua valori pînă la 6...8 ori curentul nominal.

În cazul puterilor mai mari de 60 kW, sau a raporturilor de reglare sub 2,5: 1, este necesar ca în momentul pornirii să se intercaleze rezistoare în circuitul primar sau cel secundar, rezistoare care consumă energie și în același timp măresc coeficientul unghiular al curbelor caracteristice, acestea devenind cu atît mai elastice cu cît valoarea rezistorului inclus este mai mare.

Cu cît crește raportul posibil de reglare al turațiilor, cu atît crește puterea la care se poate admite pornirea fără reostat. Astfel, la raporturile de 10: 1, pornirea se poate face fără reostate de pornire, pînă la 150 kW.

Pornirea motoarelor Schrage este o pornire economică și se pretează în cazul mașinilor la care pornirile sînt relativ dese. Timpul de pornire este însă, bineînțeles, ceva mai mare decît cel al motoarelor asincrone clasice.

Domeniile cele mai frecvente de reglare a turațiilor sînt $\delta = 2{,}5:1$; 4: 1; 10: 1 și în unele cazuri, de exemplu al puterilor mici, chiar 50: 1. Construcțiile cu domenii largi de reglare nu sînt prea economice din cauză că randamentul scade cu creșterea domeniului de reglare. În același timp se complică construcția mecanică de reglare a periilor și colectorului (cu lamele).

Întrucît în funcție de limitele de reglaj se modifică momentul maxim (raportul λ), este necesar ca la comanda proiectării motorului să se indice cuplul necesar; de asemenea se va indica turația de funcționare la cuplul respectiv, ca și cerințele de constanță ale turației alese.

Reglarea se face corespunzător celor descrise la începutul capitolului, prin simpla rotire a periilor statorului pe colector. Reglarea este continuă chiar și la cupluri rezistente zero, adică la mersul în gol, avantaj important

în cazul acționării mișcării principale la care schimbarea turațiilor se face înaintea începerii prelucrării.

Oprirea motorului Schrage se face după următoarele moduri:

a. Oprirea fără frînare prin deconectare de la rețea, în care caz timpul de frînare este mare sau prin reducerea turației și apoi deconectare în momentul atingerii turației minime.

b. Frînarea dinamică se poate face la fel ca la motoarele asincrone, adică deconectînd statorul și conectîndu-l pe un reostat. Energia electrică indusă se consumă pe acesta. Frînarea nu este prea intensă și nu se atinge turația zero.

c. Frînarea recuperativă se poate utiliza în cazul cînd motorul antrenează mase mari. Oprirea lui se realizează prin trecerea motorului de la turații mari la turații din ce în ce mai mici. Masele în mișcare, antrenînd în continuare cu turații suprasincrone rotorul, transformă motorul în generator care debitează energie pe rețea.

d. Frînarea prin contraconectare este asemănătoare celei folosite la motoarele asincrone, cu toate neajunsurile amintite. În acest caz se vor aduce periile pentru poziția $-n_{max}$, însă va trebui ca în momentul atingerii turației zero să se deconecteze motorul în mod automat.

Motoarele Schrage se utilizează în prezent în construcția de mașini-unelte, datorită atît simplității lor cît și faptului că înlocuiesc lanțuri cinematice complicate. Ele sînt cu atît mai economice cu cît turația lor este mai ridicată.

Din caracteristicile mecanice se vede că cos $\varphi = 1$ la valori mari ale turației, deci ele sînt foarte indicate în secțiile unde cos φ total este scăzut. De asemenea sînt indicate pentru antrenarea maselor mari. Un exemplu de utilizare este motorul 37 — 37 — 12 kW cu turații între 2 300 și 580 rot/min, cu frînare electrică și cu posibilitatea de reversare a turației, montat pe un strung carusel cu platoul de 1 250 mm.

Un alt exemplu este motorul unei mașini de rectificat interior cu turații ale arborelui principal de 100 și 0,57 rot/min. Motoare de acest tip se fabrică în Cehoslovacia, la fabrica din Vsetin MEZ, la puteri cuprinse între 0,6 și 130 kW.

În mod curent se fabrică motoare cu $\delta = 3:1$, cu o pereche de poli, cu puteri pînă la 35....40 kW.

Din analiza celor spuse pînă în prezent se desprind următoarele avantaje ale acestui tip de motor:

— reglarea simplă și economică a turației;

— caracteristică de reglare liniară — similară cu cea a motoarelor de curent continuu — deci rigidă;

— insensibilitate la variații ale tensiunii de alimentare — similar cu caracteristica motoarelor asincrone;

— posibilitate de reglare continuă a turației prin aparataj simplu de telecomandă;

— nu necesită aparataj de pornire pentru cazurile normale, cu $\delta = 2,5:1$; cînd se impune o pornire lentă se conectează reostate ca în cazul motoarelor asincrone simple;

— reacția la comanda de schimbare a vitezei de rotație este mult mai rapidă decît la sistemul generator-motor, deci sînt mult mai potrivite automatizării decît alte tipuri de motoare cu reglare corespunzătoare;

— factorul de putere este bun la turații mici și foarte bun la turații ridicate;

— randamentul maxim se obține pentru mijlocul intervalului, nu pentru limita superioară ca în cazul sistemului generator-motor;

se poate obține ușor putere constantă la modificarea turației, lucru foarte important la acționarea mașinilor-unelte;

— comparativ cu sistemul generator-motor ocupă un spațiu mult mai redus.

Reglarea automată a turației se poate face și cu servomotoare acționate de un sistem cu tahogenerator cuplat pe arborele motorului Schrage (fig. 3.4).

Sistemul din figură este destinat reglării automate a turației față de o turație etalon, sau pentru turația reglată inițial. Sistemul poate lucra în două situații:

a. În vederea reglării turației în mod automat, în amplificatorul *AE* se introduce un semnal etalon care se compară cu semnalul dat de tahogeneratorul *TG*. În funcție de mărimea semnalului etalon, precum și de sensul acestuia, se va cupla un releu sau altul (*E1* sau *E2*) și servomotorul se va roti într-un sens sau celălalt pînă cînd semnalul obținut de la tahogenerator (tensiune) corespunde turației dorite. În acest moment se decuplează releul *E1* sau *E2*.

b. În vederea menținerii unei turații constante procedeul este același, însă tensiunea etalon este constantă. La modificarea turației, tensiunea tahogeneratorului se modifică corespunzător, deci și diferența dintre sensul dat de *TG* și tensiunea etalon. În funcție de sensul acestei diferențe este acționat releul *E1* sau *E2* și deci motorul *SM* se va roti într-un sens sau altul atîta timp cît tensiunea tahogeneratorului *TG* rămîne diferită de cea prereglată, adică pînă cînd se atinge turația motorului *M* egală cu cea reglată.

Sistemele de protecție ale acestui motor trebuie să fie astfel concepute încît să-l asigure împotriva suprasarcinii, în special împotriva solicitărilor electrice. El poate fi asigurat cu siguranțe fuzibile, însă această metodă nu este recomandată. Se va utiliza cu precădere protecția cu relee electromagnetice, pentru suprasarcini de curent, și cu relee termice, pentru suprasarcini de moment (de lungă durată).

Firmele producătoare recomandă următoarea conectare a sistemelor de protecție a motoarelor Schrage:

— în circuitul secundar al statorului și periilor, dacă reglarea turației se face la $M = \text{const}$;

— în circuitul de alimentare de la rețea, dacă turația se reglează la $P = \text{const}$;

— ambele protecții, dacă reglarea se face combinat.

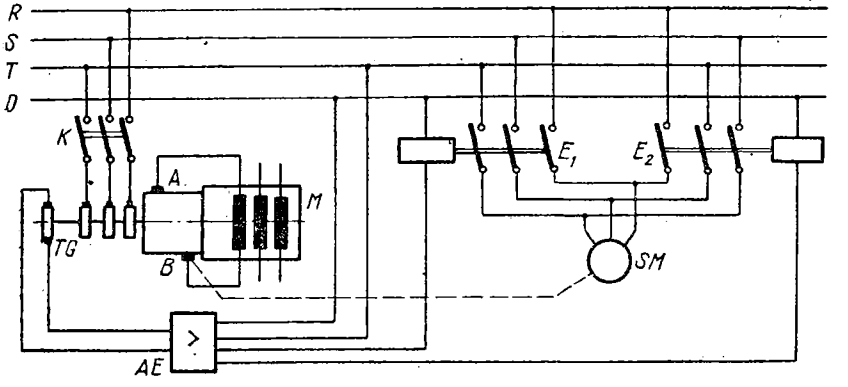


Fig. 3.4. Schema de reglare automată a turațiilor la motoarele tip Schrage.

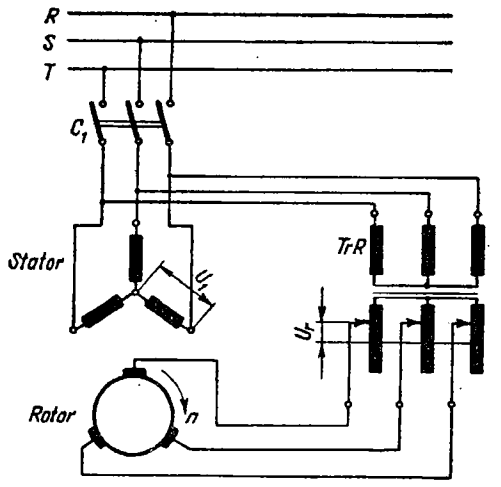


Fig. 3.5. Schema motorului trifazat cu colector cu alimentare în stator (tip Winter-Eichberg).

3.1.3. MOTORUL TRIFAZAT CU COLECTOR CU ALIMENTARE ÎN STATOR

Cunoscut și sub denumirea de motor Winter-Eichberg, motorul în sine, comparativ cu motorul Schrage, este mai simplu, însă necesită un transformator separat pentru reglaj. Statorul poartă înfășurările inductoare la fel ca orice motor asincron. Rotorul este compus din miezul magnetic cu înfășurările rotorice respective legate la un colector prevăzut cu trei perii colectoare dispuse la 120°. Periile colectoare sînt legate la cursoarele de reglaj ale acelor trei înfășurări secundare ale transformatorului de reglaj *TrR* (fig. 3.5).

După cum se vede din schemă, statorul este legat la rețea avînd tensiunea pe o fază U_1. Rotorul este legat la secundarul transformatorului, fiind alimentat cu tensiunea U_r, de aceeași frecvență cu U_1, de amplitudine diferită și în fază, sau defazată cu 180° față de U_1. În momentul conectării motorului la rețea în stator apare un cîmp magnetic învîrtitor ($n_0 = 60\,f/p$), care induce în indus tensiunea electromotoare U_{20} de frecvență $f_2 = f_1 \cdot s$. Această tensiune electromotoare U_{20} are însă la perii frecvența f_1 (a rețelei), deci este justificată legarea la rețea a periilor prin intermediul unui transformator. Tensiunea, aplicîndu-se circuitului format din înfășurările rotorice și cele ale transformatorului, dă naștere unui curent rotoric care, prin fluxul produs de el, asigură funcționarea motorului. Rezultă că în circuitul exterior curentul are frecvența f_1, iar în spirele înfășurării are frecvența $f_2 = f_1 \cdot s$.

Tensiunea indusă U_{20}, în opoziție de fază cu cea din stator, se compune (vectorial) cu tensiunea de reglaj U_r, dînd un curent rezultant variabil prin înfășurări și astfel o variație a cuplului dezvoltat.

Cele trei situații limită de funcționare care decurg din analiza schemei electrice sînt:

a. Cursoarele transformatorului se găsesc în poziția zero. În această situație cele trei perii colectoare sînt scurtcircuitate și motorul lucrează ca un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit, cu o turație inferioară celei de sincronism, corespunzătoare alunecării caracteristice lui.

b. Cursoarele transformatorului se găsesc la limita superioară a tensiunii U_r în fază cu U_1. În această situație U_r se opune lui U_{20}, tensiunea indusă în rotor și curentul rezultant sînt mai mici. Acestui curent rotoric îi corespunde un cuplu motor mai redus și deci o turație mai mică. Această situație este similară întrucîtva conectării motoarelor asincrone cu rotor bobinat, cu rezistoare în circuitul rotoric. Dacă este necesar însă ca momentul dezvoltat de motor să rămînă mare, adică curentul rotoric să rămînă constant, va trebui ca U_{20} să crească, ceea ce se produce cînd alunecarea este mare. Deci turațiile mai mici, subsincrone, se obțin atunci cînd U_r are valori mai mari

decît zero și sînt în fază cu U_1. Turația poate fi reglată continuu și economic dacă tensiunea culeasă din transformatorul de reglaj poate fi reglată continuu.

c. Cursoarele transformatorului se găsesc la limita inferioară, adică pentru un $U_{r\,max}$, dar opus ca fază lui U_1. Fiind opus lui U_1, rezultă că este în fază cu U_{20}, deci curentul rotoric este suma celor doi curenți, corespunzători lui U_{20} și U_r, așadar cuplul dezvoltat este mai mare iar turația suprasincronă.

Cînd cuplul este constant, atît curentul statoric cît și cel rotoric sînt constanți pentru o gamă largă de turații. Acest lucru se explică prin variația lui U_{20} odată cu variația alunecării (de la $+s$ la $-s$).

Domeniul de reglaj al acestor motoare este de $\pm 50\,\%$ din turația de sincronism, adică un raport de reglaj de 3: 1. Randamentul este foarte bun la turații peste cea sincronă (apropiat de unitate), însă este scăzut la turații subsincrone. Pentru valori ale lui $U_{r\,max}$ egale cu U_{20} se poate obține turația zero, însă din cauza solicitărilor electrice mari durata de menținere în această situație trebuie să fie mică. Ea poate constitui o metodă de frînare. Caracteristicile mecanice ale motorului sînt suficient de rigide mai ales în domeniul turațiilor superioare și devin din ce în ce mai elastice la turațiile limită inferioare.

Se recomandă utilizarea acestor motoare în cazul unor puteri de peste 100 kW și turații de 1 500 rot/min, cînd pornirile și reversările sînt frecvente, în cazul construcțiilor închise etc.

3.2. UTILIZAREA GRUPULUI GENERATOR-MOTOR

În exploatarea mașinilor-unelte, o condiție de bază o constituie realizarea și menținerea turației corespunzătoare regimului optim de prelucrare. Realizarea acestei cerințe funcționale este determinată de caracteristica sistemului de acționare, de capacitatea acestuia de a răspunde condițiilor de lucru stabilite. Sistemele electrice și electronice utilizate, între care și sistemul generator-motor, asigură reglarea turației într-un domeniu larg și permite realizarea unui regim dinamic la pornire, frînare și inversarea sensului de mișcare corespunzător condițiilor impuse de mașinile-unelte grele și cu mișcare rectilinie alternativă.

Grupul generator-motor este compus dintr-un motor de curent continuu, un generator, o excitatrice și un motor de curent alternativ (fig. 3.6). La arborele motorului asincron M_a, se cuplează mecanic generatorul de curent continuu G_c și excitatricea E_c (generator de curent continuu de putere mică cu excitația în derivație).

Excitatricea alimentează atît înfășurarea de excitație a generatorului cît și cea a motorului

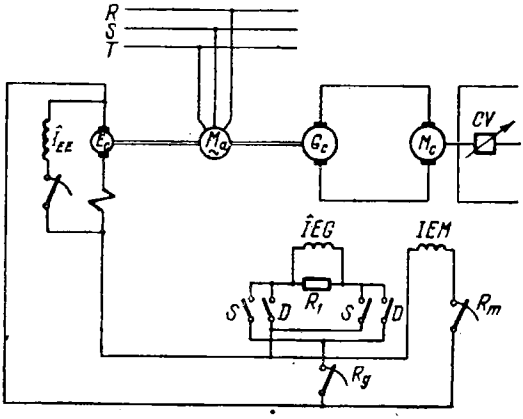


Fig. 3.6. Schema grupului generator motor.

de curent continuu. Curentul de excitație în aceste înfășurări se reglează cu ajutorul unor reostate, notate în schemă cu R_g (pentru generator) și cu R_m (pentru motor).

Alimentarea indusului motorului de curent continuu se face de la generatorul G_c și prin urmare caracteristica lui mecanică va fi determinată de tensiunea debitată de acesta.

La pornirea motorului asincron, generatorul de curent continuu și excitatricea fiind cuplate pe arborele lui se vor roti în același sens și cu aceeași turație considerată constantă.

Prin urmare forța electromotoare a generatorului va fi

$$E_g = k_g \cdot \Phi_g \cdot n_a,$$

în care: $k_g = \frac{pz}{60a}$ reprezintă o constantă a generatorului;
Φ_g — fluxul util, în Wb;
n_a — turația motorului asincron, în rot/min;
p — numărul de perechi de poli;
z — numărul de spire dintr-o înfășurare;
a — numărul înfășurărilor în paralel.

Tensiunea debitată în circuitul motorului va corespunde relației

$$U_g = E_g - r_g I_g = k_g \Phi_g n_a - r_g I_g, \tag{3.1}$$

în care: $r_g I_g$ reprezintă căderea de tensiune din generator.

Tensiunea U_g de la bornele generatorului poate fi reglată cu ajutorul reostatului R_g, care permite variația curentului din înfășurarea de excitație a generatorului și în consecință modifică valoarea fluxului Φ_g între valorile: $\Phi_{g\,max}$, corespunzător curentului de excitație $i_{eg\,max}$, și Φ_{gmin}, corespunzător curentului i_{egmin}. Valoarea minimă a curentului de excitație se ia ținînd seama de stabilitatea motorului la funcționarea cu tensiune scăzută și se realizează introducînd rezistența reostatului R_g în circuit.

Expresia caracteristicii mecanice a motorului de curent continuu din sistemul generator-motor va avea forma

$$n = \frac{U_A}{k_e \Phi} - \frac{R_A}{k_e k_m \Phi^2} M, \tag{3.2}$$

în care: $U_A = E_g - r_g I_g - r_e I_e$ reprezintă tensiunea aplicată în circuitul indusului;
$r_e I_e$ — căderea de tensiune din circuitul exterior.

Se constată că printr-o variație continuă a tensiunii U_A între două limite $U_{A\,max}$ și $U_{A\,min}$, se obține o variație continuă a turației motorului.

Pentru $U_{A\,max}$, motorul va funcționa pe caracteristica naturală corespunzătoare turației teoretice

$$n_{on} = \frac{U_{A\,max}}{k_e \Phi_n}, \tag{3.3}$$

unde Φ_n reprezintă valoarea nominală a fluxului dat de circuitul de excitație al motorului.

Pentru celelalte valori ale tensiunii, turațiile se vor afla pe o serie de caracteristici artificiale (fig. 3.7) situate sub caracteristica naturală, cărora le corespund turațiile teoretice

$$n_{0x} = \frac{U_{mx}}{k_e \Phi_n} \quad \text{cînd} \quad U_{mx} < U_{mmax}.$$

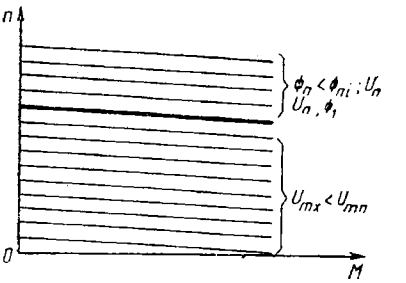


Fig. 3.7. Caracteristicile mecanice ale sistemului generator-motor.

Prin acest sistem de reglare, turațiile motorului pot fi variate într-un domeniu

$$D_u = \frac{n_{on}}{n_{0\,min}} = 5 \ldots 10,$$

realizîndu-se o reglare la cuplu constant, conform relației $M = k_M \Phi_n I_A = \text{const}$, deoarece $\Phi_n = \text{const}$ și $I_A = \text{const}$.

Reglajul turației prin variația tensiunii se face menținînd fluxul motorului la valoarea $\Phi_n = \Phi_{max} = \text{const}$, prin urmare, reostatul R_m din circuitul bobinei lui de excitație este scos din circuit (se află în poziția 0).

Introducînd treptat reostatul R_m în circuit, se micșorează curentul de excitație la motor și în consecință fluxul scade determinînd funcționarea motorului pe o serie de caracteristici artificiale situate deasupra caracteristicii naturale, corespunzător relației

$$n = \frac{U_{max}}{k_e \Phi_x} - \frac{R_A}{k_e k_M \Phi_x^2} M. \tag{3.4}$$

Aceste caracteristici nu sînt paralele între ele și au o înclinare mai mare decît caracteristica naturală deoarece termenul $\frac{R_A}{k_e k_M \Phi_x^2} M$ conține fluxul variabil Φ_x^2.

Mărimea pantei caracteristicilor mecanice obținute prin reglarea fluxului este admisibilă în anumite limite pentru care variația turației în funcție de modificările cuplului motor nu este prea mare.

Reglarea turației motorului prin variația fluxului asigură realizarea unui raport de reglare $D_\Phi = \frac{n_{\Phi\,min}}{n_{\Phi\,max}} = \frac{n_{max}}{n_n} = 2 \ldots 5$. Acest sistem asigură o reglare la putere constantă deoarece tensiunea debitată de generator și curentul principal nu se modifică. În schimb valoarea cuplului motor scade odată cu fluxul Φ, conform relației

$$M = k_M \Phi I_{AN}.$$

Folosirea sistemului generator-motor asigură reglarea continuă a turației într-un domeniu larg, ceea ce permite simplificarea considerabilă a ansamblului cinematic al mașinii-unelte.

La mașinile-unelte stabilitatea motorului de acționare este o condiție indispensabilă, întrucît realizarea regimului de așchiere prescris este determinat de menținerea constantă a turației indiferent de valoarea sarcinii.

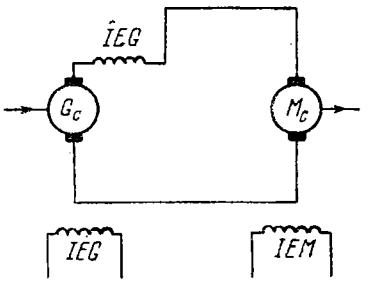


Fig. 3.8. Schema de montaj în circuitul indusului motorului a unei înfășurări de excitație suplimentară a generatorului.

Acest lucru se poate realiza dacă se montează în circuitul indusului o înfășurare de excitație suplimentară a generatorului (fig. 3.8).

Modificarea sarcinii fiind proporțională cu variația curentului principal, rezultă că înfășurarea de excitație auxiliară este influențată de intensitatea curentului din indus și va compensa tendința de modificare a turației motorului.

Considerînd pierderea relativă de turație pentru o încărcare normală în domeniul turațiilor mici

$$\Delta_n = \frac{n_{0x} - n}{n_{0x}} = \frac{R_A}{k_e k_M \Phi^2} \cdot \frac{M}{n_{0x}},$$

rezultă că orice modificare a turației n va determina o variație relativ mare a lui Δn, ceea ce la arborele principal al mașinii-unelte se traduce prin modificarea condițiilor de lucru.

Pentru funcționarea sistemului se comandă pornirea motorului asincron M_a, care antrenează generatorul și excitatricea asigurînd astfel alimentarea circuitului de excitație a mașinilor de curent continuu. Tensiunea generată de excitatrice poate fi reglată printr-un reostat. La pornire, reostatul R_g din circuitul de excitație al generatorului trebuie să fie în poziție de zero, corespunzător întreruperii circuitului bobinei de excitație a generatorului, iar prin închiderea contactelor S sau D se stabilește sensul de trecere a curentului prin această înfășurare.

Se fixează poziția reostatului R_m în poziția corespunzătoare fluxului nominal al motorului și apoi, manevrînd reostatul R_g, se alimentează bobina de excitație a generatorului. În acest fel, generatorul va debita în circuitul principal o tensiune determinată de reglajul efectuat și motorul de curent continuu se va roti cu o turație corespunzătoare acestei tensiuni.

Variind în continuare rezistența R_g, turația motorului crește odată cu tensiunea debitată de generator pînă la valoarea nominală căreia îi corespunde fluxul maxim al generatorului. Pentru mărirea în continuare a turației motorului se manevrează reostatul R_m, obținîndu-se turații superioare turației nominale.

Din expresia caracteristicii mecanice se constată că pierderea de turație pentru motoarele de curent continuu din sistemul generator-motor este mai mare decît în cazul alimentării de la rețea, deoarece

$$n = n_0 - \frac{R_g + R_e + R_A}{k_e k_M \Phi^2} M,$$

de unde

$$n_0 - n = \frac{R_g + R_e + R_A}{k_e k_M \Phi^2} M. \qquad (3.5)$$

În consecință, rigiditatea caracteristicii este mai redusă, fapt pentru care la valori mici ale turației funcționarea nu este posibilă fără măsuri speciale de mărire a stabilității motorului. Pentru pornire, motorul de curent continuu

trebuie să dezvolte un cuplu motor mai mare decît cuplul rezistent, astfel că mișcarea în sistemul de acționare va începe pe o caracteristică care intersectează axa cuplurilor la o valoare $M = M_r$ (punctul a din fig. 3.9).

Acestui cuplu îi corespunde la generator o forță electromotoare E_g determinantă, valorile mai mici fiind insuficiente pentru a asigura pornirea deoarece ele situează funcționarea motorului pe caracteristicile care intersectează axa cuplurilor la valoarea $M_m < M_r$.

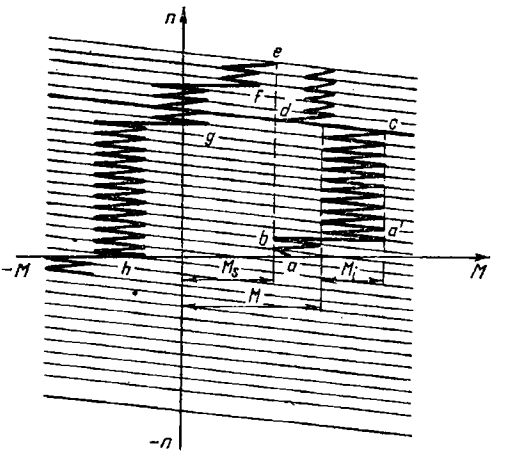


Fig. 3.9. Caracteristica de reglare a turației și frînare a motorului de curent continuu din sistemul generator-motor.

Deoarece pornirea se face la un cuplu motor apropiat de valoarea cuplului rezistent, accelerarea maselor pe caracteristica de pornire va fi lină, evitîndu-se șocurile. Treptat cuplul dinamic poate fi mărit, manevrînd reostatul de cîmp din circuitul generatorului pînă cînd se realizează cuplul de pornire mediu dorit. Această perioadă corespunde porțiunii de accelerare cuprinsă între punctele a și c.

Cuplul mediu de pornire determină accelerația sistemului și în consecință rapiditatea trecerii agregatului la turația necesară în funcționarea mașinii acționate. La început accelerația nu are o valoare constantă întrucît ea se mărește proporțional cu cuplul motor mediu, pînă cînd acesta atinge valoarea dorită și este menținut constant (zona a'—c din fig. 3.9). Din acest moment viteza crește cu o accelerație echivalentă cuplului motor, conform relației

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_m - M_r}{I}, \tag{3.6}$$

pînă cînd regimul se stabilizează pe caracteristica naturală la un cuplu $M_m = M_r$.

În această situație, pentru construcții normale ale sistemului generator-motor, fluxul generatorului și în consecință forța electromotoare E_g au valori maxime, deci se realizează tensiunea nominală a motorului.

La nevoie, se poate mări în continuare turația motorului, dar pentru aceasta se manevrează reostatul R_m din circuitul de excitație al motorului, obținîndu-se reglajul corespunzător treptelor cuprinse între punctele d-e. În acest caz modificarea turației se face la un cuplu motor mai mic decît cel obținut la variația fluxului generatorului.

Manevrarea în sens invers a reostatelor din circuitele de excitație ale motorului și generatorului vor determina frînarea motorului. După rapiditatea manevrării, frînarea va putea fi mai mult sau mai puțin intensă, funcție

de condițiile impuse de lanțul cinematic acționat. În figura 3.9 sînt reprezentate trei situații caracteristice de frînare, și anume:

$M < M_r$ — regim de funcționare motor, dar la un cuplu mai mic decît cuplul rezistent (corespunzător reglajului dintre punctele *e-f*), în care caz reostatele se manevrează lent;

$M = 0$ — în cazul în care prin reglajul reostatelor curentul prin circuitul indusului devine nul (porțiunea *f-g* de pe figură);

$M < 0$ — obținut, prin reglajul rapid al reostatelor de cîmp care determină schimbarea sensului curentului prin indusul motorului (în figură corespunde variației de turație dintre punctele *g* și *h*).

Frînarea în condițiile $M_m > 0$ are la bază transformarea energiei cinetice a maselor în mișcare în energie electrică, motorul trecînd în regim generator corespunzător frînărilor cu recuperare sau dinamice.

În cazul frînării cu recuperare, motorul va debita curent generatorului care trece în regim de funcționare motor și are tendința de accelerare antrenînd motorul asincron cu turația ce depășește turația de sincronism a acestuia. Astfel, motorul de antrenare devine și el generator și debitează curent la rețea. Această posibilitate de frînare constituie un avantaj al sistemului mai ales în cazul mașinilor-unelte cu mișcare alternativă.

Sistemele de frînare pentru care $M_n > M > 0$, sau $M = 0$ sînt lente și se bazează pe influența forțelor rezistente din sistem.

Un mijloc de frînare rapid și simplu de realizat în condițiile sistemului generator-motor îl constituie frînarea prin contracurent. Pentru realizarea acestui sistem de frînare se modifică sensul curentului din înfășurarea de excitație a generatorului, ceea ce va determina schimbarea sensului curentului prin circuitul indusului motorului. În acest scop se vor folosi contactele *S* și *D* din schema reprezentată în figura 3.6. Dacă în funcționare au fost închise contactele *D*, frînarea prin contracurent se va face prin desfacerea acestora și închiderea contactelor *S* și invers. Folosind acest sistem de frînare este necesar ca la atingerea turației $n = 0$, motorul să fie deconectat din circuitul principal. În caz contrar, motorul va începe să se rotească în sens invers și se va situa pe o caracteristică simetrică cu aceea pe care a funcționat înaintea frînării.

Această posibilitate face ca grupul generator-motor să constituie sistemul de acționare optim în cazul mașinilor-unelte care au organe de lucru cu un număr mare de inversări de sens pe oră. El permite înlăturarea mecanismelor de frînare și inversare mecanică și prin urmare elimină piesele de mare uzură din lanțul cinematic al mașinii-unelte. Regimul de frînare și inversare poate fi reglat ținînd seama de inerția maselor, evitîndu-se astfel șocurile puternice la capetele de cursă.

În cazul unei mașini de rabotat, sau la acționarea mesei unei mașini de frezat portal, este necesar să se asigure o reglare a turației în condițiile $M = f(n) = \text{const}$, specifică reglajului prin variația tensiunii de alimentare. La strungurile grele, în schimb, caracteristica de reglare este $P = f(n) = \text{const}$, pentru care în sistemul generator-motor corespunde reglajul prin variația fluxului motorului.

Cu toate acestea, ținînd seama de faptul că la toate mașinile-unelte grele, la turații mari cuplul rezistent este mic și că la mașinile cu mișcare rectilinie alternativă de tipul rabotezelor și a mașinilor de frezat portal cuplul rezistent maxim este constant (v. cap. 1), în majoritatea cazurilor alegerea sistemului

generator-motor se va face pe baza cuplului motor maxim, iar reglajul se va face după caracteristicile cărora le corespunde condiția $M = f(n) = \text{const.}$

Dacă domeniul de reglare realizabil prin variația tensiunii pentru sistemul avînd generatorul și motorul de putere echivalentă nu este suficient, el poate fi dublat alegînd un generator cu o putere de două ori mai mare decît a motorului de curent continuu. În acest caz motorul va funcționa pe caracteristica naturală la o tensiune corespunzînd la generator unei forțe electromotoare $E_{mediu} = \frac{E_{g\,max}}{2}$.

În unele cazuri pornirea, frînarea și inversarea motorului se pot face fără a utiliza reglarea reostatului din circuitul de excitație a generatorului, ca de exemplu la unele mașini de frezat portal sau la mașinile de rabotat. În aceste cazuri bobina de excitație a generatorului va fi alimentată direct de tensiunea debitată de excitatrice, iar curentul în înfășurare va crește conform relației cunoscute pentru circuitele cu inductanță și rezistență

$$i_e = \frac{U_e}{R_e}\left(1 - e^{-\frac{t}{L_e/R_e}}\right), \tag{3.7}$$

în care: U_e este tensiunea de alimentare;
R_e — rezistența înfășurării de excitație;
L_e — inductanța bobinei de excitație.

Raportul $\frac{L_e}{R_e} = T_e$ reprezintă constanta electromagnetică de timp a bobinajului și determină durata necesară pentru ca procesul de excitație să poată fi considerat terminat ($t_e = 4T_e$). Variația curentului de excitație este reprezentată în figura 3.10 prin curba *1* și considerînd că tensiunea debitată de generator are aproximativ aceeași caracteristică de creștere se poate admite că accelerarea mașinii-unelte se face după o curbă exponențială căreia îi corespunde la început o zonă de mișcare cu accelerație relativ uniformă. La sfîrșitul procesului tranzitoriu creșterea curentului de excitație este din ce în ce mai redusă, iar după un timp $t_0 = 4T_e$, acesta poate fi considerat constant.

În consecință, accelerația ansamblului acționat va scădea aproximativ la fel și astfel motorul ajunge să funcționeze pe caracteristica dorită fără șocuri.

Similar poate fi realizată frînarea prin deconectarea înfășurării de excitație a generatorului și cuplarea la o rezistență de descărcare R_1, legată în paralel cu ea. În acest caz fluxul generatorului scăzînd induce în bobina de excitație o forță E_b electromotoare, care dă naștere în circuitul închis format de bobină și rezistența de descărcare R_1 unui curent care scade conform relației:

$$i_e = \frac{U_e}{R_e} e^{-\frac{t}{L_e/R_e+R_1}}. \tag{3.8}$$

Această variație a curentului de excitație corespunde graficului din figura 3.11 și este echivalentă cu scăderea curentului de excitație

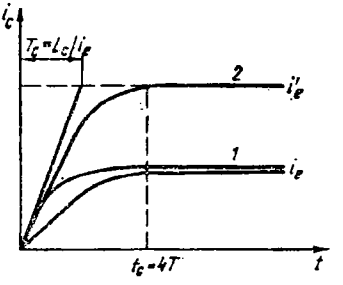


Fig. 3.10. Diagrama de variație a curentului de excitație din înfășurările generatorului prin conectarea direct la sursa de alimentare.

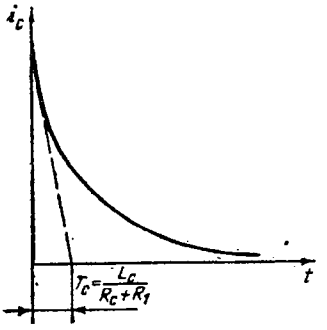


Fig. 3.11. Variația curentului de excitație a generatorului la deconectarea de la sursa de alimentare și conectarea ei la o rezistență de descărcare.

prin manevrarea reostatului de cîmp al generatorului. Prin urmare sistemul corespunde unei frînări cu recuperare, iar rezistența R_1 protejează izolația bobinei de excitație împotriva străpungerii la întreruperea accidentală a curentului de excitație. Alegerea rezistenței de descărcare R_1 se face astfel încît să se limiteze tensiunea la o valoare acceptabilă pentru înfășurarea de excitație a generatorului dar în același timp să nu crească prea mult pierderile datorită curentului care străbate permanent această rezistență.

Datorită faptului că productivitatea atît a mașinilor-unelte cu porniri și opriri frecvente cît și a celor care funcționează cu mișcări alternative este influențată în mare măsură de durata timpilor auxiliari necesari proceselor tranzitorii, se utilizează frecvent pornirea forțată a grupului. Forțarea accelerării constă în aplicarea la început a unei tensiuni de 2...3 ori mai mare la bornele bobinei de excitație a generatorului. În acest caz, făcînd conectarea directă, curentul de excitație va crește mai repede corespunzîndu-i curba *2* din figura 3.10.

Pentru a nu depăși condițiile de funcționare normale pentru înfășurarea de excitație, tensiunea la bornele acesteia se va reduce la valoarea normală, atunci cînd curentul de excitație a ajuns la intensitatea nominală. În acest caz curentul de excitație și în consecință tensiunea de alimentare și turația motorului vor varia după o curbă situată între *1* și *2* (fig. 3.10).

Din funcționarea grupului generator-motor se remarcă faptul că procesele tranzitorii se realizează cu un consum minim de energie și nu necesită un aparataj deosebit. Aceasta se datorează faptului că pornirea, frînarea și inversarea sensului de rotație se execută prin comanda circuitelor de excitație parcurse de curenți slabi.

Pe baza caracteristicilor funcționale specifice grupului generator-motor format din mașini electrice de curent continuu cu excitație în paralel, pentru acționarea mașinilor-unelte se pot evidenția următoarele avantaje:

— grupul generator-motor asigură punerea în mișcare și frînarea mașinilor grele înlăturînd solicitările dinamice și mecanismele cu uzură mare din categoria cuplajelor (accelerația la pornire și frînarea la oprire pot fi reglate simplu și în limite largi);

— frînarea poate fi realizată prin toate metodele cunoscute (recuperare, dinamică, contracurent) pînă la oprirea completă a motorului și nu necesită alt aparataj decît reostate de cîmp simple și comod de manevrat;

— permite reglarea continuă a turației motorului într-un domeniu larg, fapt care asigură simplificarea considerabilă a ansamblului cinematic prin folosirea reglării electromecanice a turațiilor;

— datorită inversării ușoare a sensului de rotație, se folosește la mașinile cu mișcare alternativă, înlăturînd inversoarele mecanice;

— pornirea și frînarea se realizează cu un consum minim de energie electrică întrucît nu necesită introducerea unor rezistențe suplimentare în circuitul principal (indusului);

— nu necesită alimentarea de la o rețea de curent continuu, deci nu implică condiții de utilizare speciale;

— poate fi comandat cu ușurință de la distanță și se pretează la automatizare.

Dintre dezavantajele grupului, cele mai importante sînt:

— randamentul scăzut datorită pierderilor în cele patru mașini care formează agregatul;

— costul ridicat al acestora;

— necesitatea unui spațiu mare de amplasare.

3.3. ARBORELE ELECTRIC

3.3.1. SINCRONIZAREA ARBORELUI ELECTRIC

Numim arbore electric un grup de patru mașini, în general rotative, din care două mașini sînt motoare, iar celelalte două sînt legate mecanic cu cîte unul din motoare, lucrînd în regim de traductoare de sincronizare (fig. 3. 12). Motorul *m1*, de tip asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit, antrenează în același timp un lanț cinematic *I* și mașina asincronă cu rotorul bobinat *m3*, iar motorul *m2*, antrenînd lanțul *II*, este legat mecanic de mașina *m4*, cele două mașini *m3* și *m4* fiind legate electric ca în figură. Condiția care se pune este ca cele două lanțuri *I* și *II* să lucreze sincron, fără vreo legătură mecanică de sincronizare. După cum se vede, toate cele patru mașini sînt alimentate în stator de la aceeași rețea trifazată de curent alternativ. La o funcționare sincronă, cu aceeași turație, în indusul fiecărei mașini *m3* și *m4* se induc tensiuni electromotoare egale și în fază. Legînd în opoziție cele trei înfășurări-pereche ale mașinilor *m3* și *m4*, curentul care se stabilește pe fiecare circuit va fi nul (fig. 3.12). Considerînd acum că una din mașini va avea o turație inferioară celeilalte (presupunem că turația lui *m4* este mai mică decît a lui *m3*), rezultă că valoarea curentului pe fiecare circuit nu mai rămîne zero, deoarece cele două tensiuni electromotoare *E1* și *E2* nu mai sînt în fază, defazarea fiind egală cu $180° - \psi$ (fig. 3.13).

Tensiunea electromotoare rezultantă *E* va produce un curent în înfășurările corespunzătoare, al cărui vector *I* va fi defazat față de vectorul t.e.m. *E* cu unghiul φ_1. Se observă că, în timp ce proiecția lui *I* pe *E2* este în fază

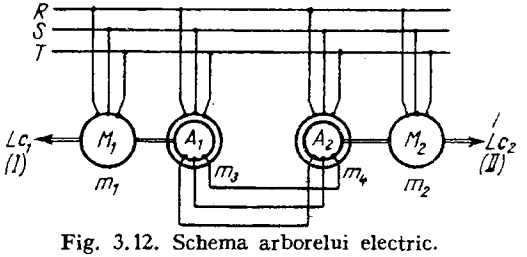


Fig. 3.12. Schema arborelui electric.

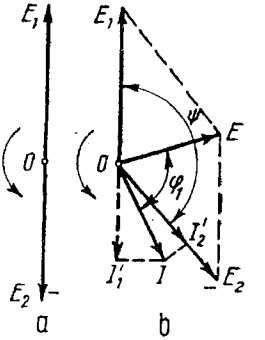


Fig. 3.13. Schema tensiunii electromotoare în cazul arborelui electric:

a— mers sincron; *b*— la defazare.

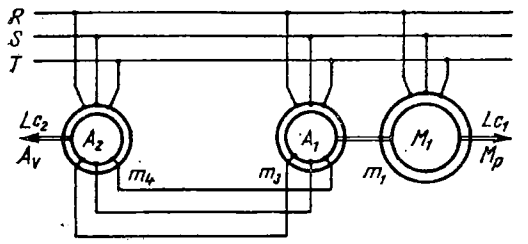


Fig. 3.14. Schema de utilizare a arborelui electric în condițiile acționării a două lanțuri cinematice cu puteri diferite.

cu *E2*, proiecția acestuia pe *E1* este în opoziție de fază cu *E1*. Rezultă că mașina *m3* va lucra în regim de generator iar mașina *m4* în regim de motor.

Cuplul dezvoltat în acest caz de mașina *m4*, care se adună cuplului motorului *m2*, va tinde să mărească turația motorului *m2* pînă la atingerea turației motorului *m1*. În acel moment curentul *I* va fi anulat (descreşte treptat odată cu diminuarea desincronismului) şi motoarele vor funcționa în continuare sincron. Sistemul descris, denumit uneori şi sistem de antrenare rotativă sincronă, se utilizează atunci cînd puterile consumate în cele două lanțuri cinematice sînt aproximativ egale şi relativ mari. Cînd unul din lanțurile cinematice necesită o putere mai redusă, cum ar fi cazul lanțurilor de avans față de mișcarea principală, se utilizează o schemă mai simplă, cu numai trei mașini (fig. 3.14). Astfel, motorul *m1* antrenează lanțul mișcării principale şi mașina asincronă *m3*. Aceasta este legată în sistem arbore electric de mașina *m4*, care acționează lanțul mișcării de avans al mașinii-unelte.

Pentru ca mașina *m4* să dezvolte cuplul necesar învingerii cuplului rezistent trebuie ca înfăşurarea rotorică să fie parcursă de curent, deci este normal ca între cele două mașini să existe un desincronism care să se mențină pentru o funcționare corectă.

Un dezavantaj al sistemului arbore electric este, în primul rînd, existența cel puțin a unei mașini în plus (*m3* sau *m3* şi *m4*) care, pe de o parte scumpeşte sistemul, iar pe de altă parte îi măreşte dimensiunile de gabarit.

Un alt dezavantaj constă în existența unor reductoare de turație suplimentare. Acest lucru se explică prin aceea că sesizarea desincronismului este cu atît mai precisă cu cît turația motoarelor este mai ridicată. De aceea se utilizează motoare de turație maximă, prevăzînd pentru reducerea ei trepte reductoare suplimentare.

În fine, un alt dezavantaj important constă în dimensiunile de gabarit mai mari ale mașinilor. Acestea se datoresc în primul rînd necesității adoptării unei puteri mai mari pentru a înlătura oscilațiile prea dese de turație, iar în al doilea rînd faptului că, de regulă, aceste mașini lucrează cu alunecări sporite (majorate).

Avantajul deosebit pe care îl prezintă acest sistem, adică posibilitatea realizării unor mișcări sincrone la distanțe oricît de mari şi cu erori mai mici decît ale sistemelor de sincronizare mecanice, face ca el să fie foarte răspîndit în multe cazuri.

3.3.2. UTILIZAREA ARBORELUI ELECTRIC

Utilizarea cea mai rațională a arborelui electric este, conform celor arătate mai înainte, în cazul necesității realizării mișcărilor sincrone ale lanțurilor cinematice sau organelor în mișcare aflate la distanțe mari. Un astfel de caz este cel al mașinilor-unelte grele, la care confecționarea şuruburilor conducătoare de lungimi mari constituie o adevărată problemă de ordin tehnologic.

În afară de aceasta, eroarea datorită deformațiilor torsionale este cu atît mai mare cu cît lungimea șurubului este mai mare. Evident că în cazul sistemului arbore electric distanța nu joacă nici un rol, precizia absolută putînd fi mai bună decît în orice sistem de tip mecanic de transmitere a mișcării la distanță.

Un alt caz este cel al deplasării traversei mobile a mașinilor de rabotat, de frezat sau caruselelor foarte grele, cînd distanța între coloane este mare. Dată fiind viteza mică de deplasare și deci puterea redusă a motorului de antrenare în cazul de față, pentru realizarea sistemului arbore electric este suficient un număr de două mașini cuplate electric (*m1* și *m2* fig. 3.15). Acestea sînt două motoare asincrone cu rotor bobinat, înfășurările rotorice legîndu-se reciproc, iar echilibrarea între faze făcîndu-se cu ajutorul reostatelor R_1—R_3. Curentul între rotoare va avea un sens sau altul (putînd deci fi și zero) în funcție de sensul și mărimea desincronizării și va dezvolta cupluri de sincronizare într-una din cele două mașini.

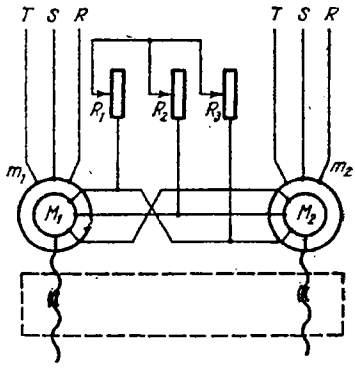


Fig. 3.15. Schema arborelui electric folosit la deplasarea sincronă a traverselor sau coloanelor de la mașinile-unelte grele.

Ca un dezavantaj al sistemului trebuie amintit că la întreruperea alimentării uneia din mașini cuplul de sincronizare crește brusc, putînd duce la avarierea mașinii în funcțiune sau a lanțului cinematic antrenat. În acest caz se iau măsuri de decuplare automată a ambelor mașini la întreruperea alimentării uneia, sau se prevăd sisteme de retragere rapidă a sculei din așchie pentru a preîntîmpina distrugerea ei.

Un alt exemplu de realizare a rotirii sincrone a două motoare este ilustrat în figura 3.16. În această schemă se utilizează un grup de două selsine, în care *S1* este traductor emițător, iar *S2* receptor.

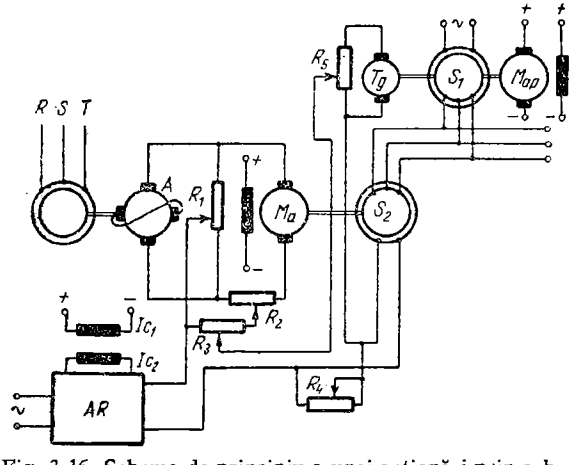


Fig. 3.16. Schema de principiu a unei acționări prin arbore electric cu urmărire prin selsine a mersului sincron a celor două motoare.

Cele două motoare *Map* (al arborelui principal) și *Ma* (al avansului) trebuie să aibă o mișcare sincronă. În cazul cînd cele două rotoare se rotesc normal, sincron, cele două tensiuni electromotoare din cele două selsine se anulează reciproc și selsinul *S2* nu transmite tensiune amplificatorului *AR*. La încetinirea rotației unuia din motoare apare o tensiune de sens corespunzător debitată de selsinul *S2*, care se aplică amplificatorului de reglaj *AR* la ieșirea căruia se găsește înfășurarea de comandă *IC2*. Aceasta co-

mandă variația tensiunii debitată de amplidină și ca urmare coordonarea mai exactă a turației rotorului motorului *Ma* față de cea a motorului *Map*. Semnalul furnizat de selsinul receptor *S2* se însumează cu alte trei semnale, și anume:

— cu reacția de tensiune a grupului generator-motor cu amplidină care se reglează cu potențiometrul *R1*;

— cu reacția de intensitate reglabilă prin potențiometrul *R2* (dozarea cantitativă a celor două reacții se face cu potențiometrul *R3*);

— cu semnalul dat de tahogeneratorul *Tg* prin potențiometrul *R5*. În acest fel schema asigură mersul normal, adică la turație normală și în mod sincron, în cazul următoarelor situații anormale:

— la variația de tensiune dată de amplidină;

— la variația cuplului rezistent aplicat motorului lanțului de avans;

— la variația cuplului rezistent aplicat arborelui principal;

— la modificarea separată a turației unuia din motoare.

În plus, eroarea de unghi de desincronism poate fi măsurată și înregistrată, măsurînd valoarea tensiunii debitată de selsinul *S2*. Acest semnal poate fi utilizat și în alt scop. Astfel, în cazul în care desincronismul s-a produs brusc, ca urmare a unei avarii de ordin mecanic sau electric, tensiunea mare debitată de *S2* poate acționa un releu intermediar care să conecteze un servomotor pentru retragerea rapidă a sculei din așchie.

Sistemele descrise pînă aici pot asigura o precizie a coincidenței poziției celor două rotoare de 5...10%.

Dezvoltarea sistemului arbore electric este deosebit de importantă mai ales în construcția mașinilor de danturat la care, după cum se cunoaște, abaterea admisibilă unghiulară este foarte mică (cîteva minute). Prin utilizarea selsinelor în sistemele de arbore electric se presupune că această limită poate fi atinsă. Aceste sisteme își găsesc aplicația și în alte domenii ale construcției de mașini-unelte, cum ar fi, de exemplu, în cel al dispozitivelor divizoare sau al comenzilor după program.

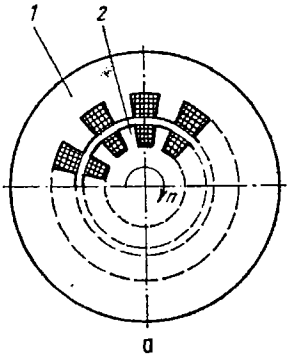
3.4. MOTORUL ASINCRON LINIAR

Motorul asincron liniar se obține dintr-un motor asincron clasic (rotativ) dacă atît statorul cît și rotorul acestuia se taie după o generatoare și se desfășoară într-un plan.

În principiu, procedînd în acest mod se poate obține pentru fiecare motor rotativ unul echivalent liniar. În figura 3.17 se pot vedea inductorul *1* și indusul *2* pentru cele două motoare: rotativ *a* și liniar *b*.

Principiul de funcționare al motorului asincron liniar rămîne cel arătat în cazul motorului asincron clasic.

Deoarece în întrefierul motorului asincron liniar nu mai ia naștere un cîmp magnetic învîrtitor ci unul alunecător (undă progresivă), partea mobilă va fi antrenată într-o mișcare liniară, în sensul cîmpului magnetic alunecător. Avînd în vedere acest lucru, atît turația n cît și cuplul electromagnetic M, utilizate în cazul motorului asincron, vor trebui înlocuite cu viteza v, respectiv forța longitudinală F.



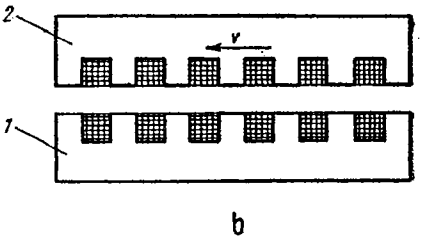


Fig. 3.17. Schema de echivalență între motoarele liniare și rotative:
a — schema motorului rotativ; *b* — schema motorului liniar.

Dacă notăm cu v_0 viteza de deplasare a cîmpului magnetic alunecător în raport cu inductorul (viteză de sincronism) și cu v viteza de deplasare a părții mobile față de inductor, atunci alunecarea se definește astfel

$$s = \frac{v_0 - v}{v_0}. \tag{3.9}$$

La fel ca în cazul motorului asincron clasic și în situația de față $s \in (0,1)$, adică $0 < v < v_0$.

Există mai multe posibilități practice de realizare a motoarelor liniare. Astfel, acestea pot fi cu inductor lung și indus scurt sau cu inductor scurt și indus lung (fig. 3.17). Prima categorie este mai puțin răspîndită în prezent, fiind indicată în cazul mișcărilor alternative pe distanțe relativ scurte (la mașini de rectificat, războaie de țesut, dispozitive de divizare etc.). A doua categorie a cunoscut o răspîndire mai largă, fiind utilizată atît în instalațiile industriale (viteze mici de deplasare) cît și în tracțiunea electrică (de mare viteză). În tracțiune este adesea însoțită de suspensia magnetică.

Pe de altă parte, este posibilă atît varianta cu inductor fix și indus mobil (acționarea benzilor transportoare), cît și invers (poduri rulante, transportoare, tracțiune electrică), ultima variantă fiind mai răspîndită.

Din punctul de vedere al modului cum este realizat indusul se pot distinge următoarele cazuri: cu înfășurări în partea indusă (caz special), cu colivie (caz special) sau cu placă masivă conductoare (caz obișnuit). Placa masivă conductoare poate fi neferomagnetică, de regulă din aluminiu sau cupru, feromagnetică sau formată din două straturi, unul feromagnetic iar celălalt neferomagnetic (fig. 3.18, *b*).

Motoarele liniare se pot realiza atît cu inductor unilateral (fig. 3.18, *a* și *b*) cît și bilateral (fig. 3.18, *c* și *d*). În ultimul caz ambele armături ale inductorului pot fi bobinate identic (fig. 3.18, *d*), situație în care trebuie astfel conectate încît cîmpul polilor magnetici să-și adauge efectele, sau una poate să fie fără înfășurare (fig. 3.18, *c*), folosind la închiderea liniilor de cîmp magnetic.

Motorul asincron liniar prezintă o serie de avantaje, și anume: posibilitatea obținerii directe a mișcării de translație, forța de împingere (tracțiune) nedepinzînd de aderență, construcție simplă și robustă, cost redus și alimentare simplă.

Dezavantajele specifice acestor motoare constau în faptul că au un factor de putere și un randament inferioare motorului asincron rotativ.

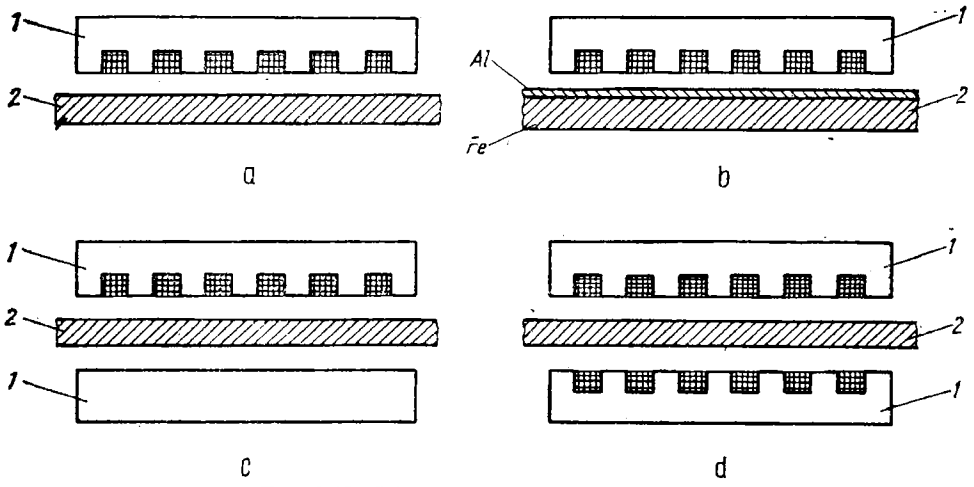


Fig. 3.18. Scheme ale motoarelor liniare:

a — cu inductor unilateral; *b* — cu inductor unilateral cu placă masivă formată din două straturi; *c* — cu inductor bilateral avînd pe una din armături o înfăşurare; *d* — cu inductor bilateral avînd înfăşurări identice pe ambele armături.

3.5. MAŞINA AMPLIFICATOARE ROTATIVĂ CU CÎMP TRANSVERSAL (AMPLIDINA)

Amplidina este o maşină electrică amplificatoare. Agregatul amplidină se compune de fapt din două maşini: un motor de antrenare şi un generator comandat, care nu este altceva decît un montaj cascadă a două generatoare într-o singură maşină. Funcţionarea amplidinei poate fi explicată cu ajutorul figurii 3.19. Bobinajul de excitaţie (de fapt de comandă) parcurs de curentul *I1* produce fluxul magnetic $\Phi 1$. În conductoarele aflate în rotor şi care sînt străbătute de fluxul $\Phi 1$ se induce o tensiune electromotoare *E2*. Dacă se va închide circuitul corespunzător periilor *B1* şi *B2*, în circuitul astfel format va apărea un curent *I2* proporţional cu tensiunea electromotoare *E2* şi invers proporţional cu rezistenţa ohmică a circuitului. Ori, cum de obicei periile *B1* şi *B2* se leagă în scurtcircuit, rezistenţa circuitului este cea a înfăşurărilor indusului, adică foarte mică, ceea ce determină un curent *I2* foarte mare. La rîndul său, acest curent va produce un cîmp transversal (perpendicular pe primul), de flux $\Phi 2$, care va induce o tensiune electromotoare *E3* culeasă la bornele corespunzătoare *A1* şi *A2* şi aplicată pe rezistenţa de sarcină (consumatorul).

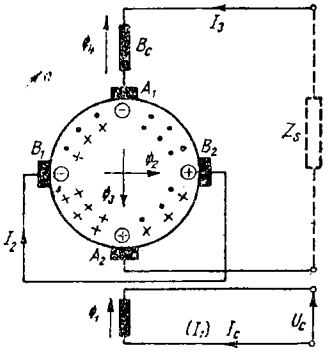


Fig. 3.19. Schema de principiu a amplidinei.

În momentul închiderii circuitului sarcinii apare curentul de sarcină *I3* care va da naştere, la rîndul lui, cîmpului magnetic de flux $\Phi 3$. După cum se vede, acesta este orientat în sens opus fluxului de comandă, deci este demagnetizant. Ca urmare intervine o scădere rapidă

a tensiunii induse la periile transversale, o reducere corespunzătoare a curentului *I2* și în final o scădere sensibilă a tensiunii la periile de lucru. Acest fenomen este cunoscut și sub numele de *prăbușirea amplidinei.* Pentru a înlătura acest efect este prevăzută înfășurarea de compensație *BC*, care va da un flux opus fluxului $\Phi 3$ și egal cu el ca mărime. De aceea se poate spune că se obține o acțiune a bobinajului de comandă independentă de sarcină. În acest fel, cu o putere mică, consumată pentru comandă, se debitează la ieșire o putere de multe ori mai mare.

Acest lucru se poate ușor demonstra din ecuațiile funcționale ale amplidinei. Dacă se fac notațiile:

P_1 — puterea la bornele de intrare;

P_2 — puterea transferată circuitului transversal;

P_3 — puterea cedată sarcinii,

se poate scrie raportul

$$K_p = \frac{P_3}{P_1} = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_3}{P_2} = K_{p1} \cdot K_{p2}, \tag{3.10}$$

care se numește factor de amplificare statică de putere. Considerîndu-se circuitul magnetic nesaturat și notîndu-se cu λ_1 și λ_2 permeanțele circuitului magnetic după axa longitudinală, respectiv transversală, vom avea pentru fluxul de comandă

$$\Phi_1 = k_1 \cdot \lambda_1 \cdot I_1 \tag{3.11}$$

sau pentru o rezistență a indusului egală cu R_a:

$$U_{e2} = k_e \cdot n \cdot \Phi_1; \quad I_2 = \frac{U_{e2}}{R_a} \quad \text{și} \quad \Phi_2 = k_2 \cdot \lambda_2 \cdot I_2. \tag{3.12}$$

T.e.m. indusă în circuitul longitudinal este

$$U_{e3} = k_e \cdot n \cdot \Phi_2 = \frac{k_e^2 \cdot n^2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot I_1}{R_a}. \tag{3.13}$$

Pe sarcina Z_s vom avea curentul de sarcină I_3

$$I_3 = \frac{U_{e3}}{R_a + Z_s} = \frac{k_e^2 \cdot n^2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot I_1}{R_a(R_a + Z_s)}. \tag{3.14}$$

Puterea la bornele de ieșire ale amplidinei este

$$P_3 = Z_s \cdot I_3^2 = \frac{Z_s}{R_a^2(R_a + Z_s)^2} \cdot (k_e^2 \cdot n^2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot I_1)^2. \tag{3.15}$$

Puterea la bornele circuitului de comandă este

$$P_1 = R_1 \cdot I_1^2, \tag{3.16}$$

în care R_1 este rezistența înfășurării de comandă. Se obține astfel raportul de amplificare al amplidinei

$$K_p = \frac{P_3}{P_1} = \frac{Z_s \cdot k_e^4}{R_1 \cdot R_a^2(R_a + Z_s)^2} \cdot (n^2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2)^2. \tag{3.17}$$

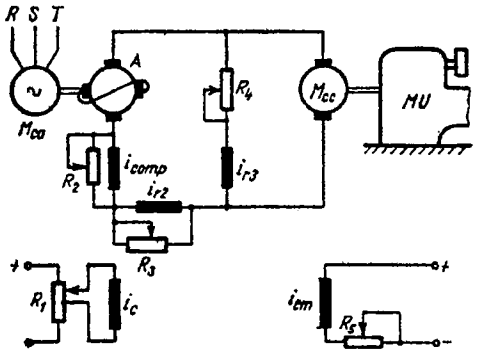


Fig. 3.20. Schema de utilizare a amplidinei ca generator pentru alimentarea unui motor de curent continuu.

Se observă deci că o influență mare asupra factorului de amplificare o au permeanțele longitudinale și transversale ale circuitului magnetic și în mod deosebit turația *n*.

În cazurile în care amplidina este comandată de un sistem electronic cu tuburi de mică putere, raportul total de amplificare poate să depășească chiar 10 000 : 1. Diferența de putere este preluată din exterior și anume absorbită prin motorul de antrenare din rețea. Astfel se explică de ce, deși este o mașină scumpă, se utilizează totuși foarte mult în construcția de mașini-unelte. În prezent este tot mai mult înlocuită de acționarea ionică.

Amplidina poate fi utilizată ca servomașină, dar mai mult în cazul acționărilor electrice propriu-zise. În acest caz se utilizează fie ca excitatrice în componența sistemelor generator-motor, fie chiar ca generator în sistemele de mică putere. Un astfel de exemplu este ilustrat în figura 3.20. În acest caz, în locul generatorului a fost prevăzută amplidina *A* cu înfășurarea de comandă *ic*. Tensiunea aplicată înfășurării de comandă poate fi controlată cu potențiometrul *R1* ca mărime (pentru reglarea turației motorului *Mcc*) și ca sens (pentru reversarea sensului de rotație).

Sistemul este prevăzut cu o înfășurare de compensație i_{comp}, cu o reacție negativă de tensiune *ir3* și una pozitivă de curent *ir2*, reglabile cu potențiometrele *R2*, respectiv *R4* și *R3*. Un astfel de sistem poate fi utilizat pînă la circa 10 kW. Un exemplu de utilizare a agregatului descris mai sus se întîlnește în cazul strungului automat 1125, de fabricație sovietică.

Pentru înlăturarea oscilațiilor tensiunii debitate de amplidină se utilizează un circuit special de reacție, așa-zis de stabilizare. Pulsațiile de tensiune sînt transmise printr-un condensator, sau printr-un transformator, la o înfășurare care, prin modul de legare, produce o reacție negativă de stabilizare (fig. 3.21, *a* și *b*).

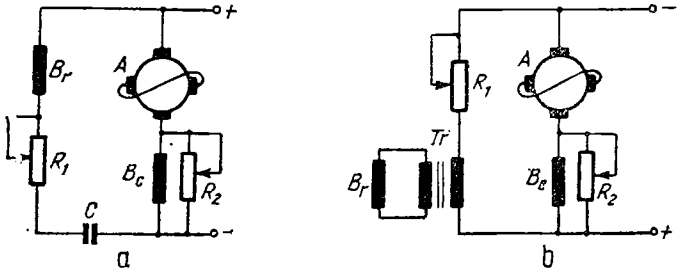


Fig. 3.21. Schema de realizare a circuitului de reacție:
a — prin condensator; *b* — prin transformator.

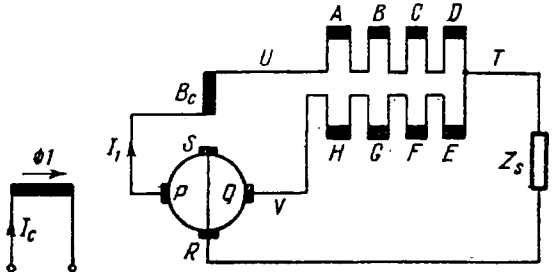


Fig. 3.22. Schema primei trepte de amplificare a rotorului.

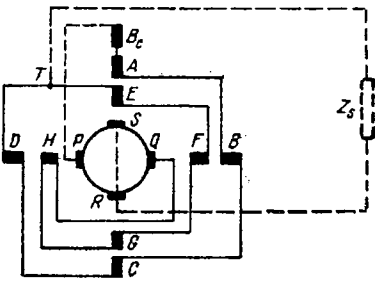


Fig. 3.23. Schema de principiu a celei de-a doua trepte de amplificare a rotorului.

3.6. ROTOTROLUL

Rototrolul este o mașină amplificatoare cu patru poli, al cărei principiu este apropiat de cel al amplidinei sau al metadinei, în sensul că și în acest caz este vorba de o mașină amplificatoare rotativă cu două etaje.

Curentul de comandă *Ic* (fig. 3.22) dă naștere unui flux numai pe doi poli opuși. Ca la orice mașină cu patru poli rezultă un curent *I1* la cele două perii *P* și *Q*.

Cel de-al doilea etaj corespunde unui etaj amplificator cu patru poli (fig. 3.23). Indusul acestui etaj se confundă cu indusul primului etaj, iar cei patru poli sînt polii utilizați în primul etaj, corespunzători înfășurărilor *ABCDEFGH*. Pentru ca cele două etaje să nu se influențeze reciproc, polii sînt bobinați în așa fel încît fluxul produs de doi poli opuși să fie zero. Tensiunea de ieșire este culeasă între bornele *R* și punctul median al înfășurărilor de excitație ale etajului al doilea.

Acest lucru este necesar pentru ca înfășurările acestui din urmă etaj să fie străbătute de curenți de sarcină (pe sarcina *Zs*) opuși. Este evident că punctele *R* și *S* se găsesc la potențial egal. Legătura de scurtcircuitare *RS* permite echilibrarea curenților, însă ea nu este necesară în etajul secundar de amplificare. Ea este necesară și obligatorie doar pentru primul etaj.

4

SISTEME DE REGLARE A TURAȚIEI

4.1. AMPLIFICATOARELE MAGNETICE ȘI UTILIZAREA LOR LA REGLAREA TURAȚIEI MOTOARELOR

Amplificatorul magnetic se bazează în principiu pe folosirea porțiunii nelineare a curbei de magnetizare a materialelor feromagnetice, la care permeabilitatea magnetică scade mult la saturarea miezului.

El se compune dintr-un miez magnetic executat din tole de aliaj feromagnetic de bună calitate (fero-siliciu sau fero-nichel), pe care se găsesc înfășurările de curent continuu C_1 și C_2 și înfășurările de curent alternativ A_1 și A_2 (fig. 4.1).

În serie cu înfășurările A_1 și A_2 se conectează un redresor R_2, atunci cînd se impune alimentarea unei sarcini de curent continuu.

Cînd sînt alimentate numai înfășurările A_1 și A_2, inducția are o valoare care corespunde punctelor de funcționare *1* și *1'* pe curba de magnetizare (fig. 4.2).

Alimentînd înfășurarea C_1 prin intermediul redresorului R_1 și al rezistenței de reglare r inducția va fi deplasată în zona de saturație corespunzătoare punctelor de funcționare *2* și *2'* (punctul *2* corespunde inducției de saturație B_s). Cînd înfășurarea C_2 este străbătută de un curent de comandă, inducția se modifică corespunzător acestuia iar funcționarea se va deplasa în zona

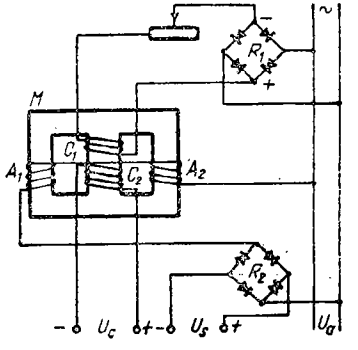


Fig. 4.1. Schema amplificatorului magnetic.

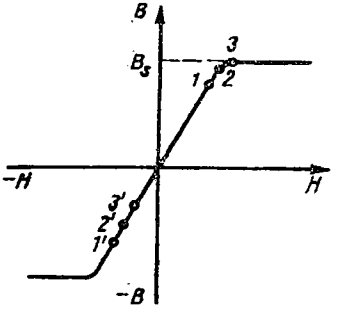


Fig. 4.2. Curba de magnetizare.

3 — 3' unde permeabilitatea magnetică a miezului scade în raport cu aceea din punctele *2 — 2'*. Aceasta are ca efect scăderea inductanței proprii a înfășurărilor A_1, A_2 și în consecință se obține creșterea corespunzătoare a curentului în aceste înfășurări, respectiv în circuitul de curent continuu alimentat la bornele U_s.

Amplificatoarele magnetice prezintă o serie de avantaje dintre care evidențiem următoarele:

— siguranța mare în funcționare și întreținere ușoară;

— reacție promptă la aplicarea tensiunii de alimentare;

— capacitatea de a suporta suprasarcini un timp relativ îndelungat;

— caracteristica funcțională stabilă independent de temperatura mediului și de valoarea tensiunii de alimentare;

— posibilitatea de a cumula prin execuție un număr mare de circuite de comandă independente care pot funcționa ca un sistem de comandă fără contacte;

— rezistență mare la vibrații și funcționare fără zgomot.

Dezavantajele amplificatoarelor magnetice constau în dimensiunile și greutatea lor mare precum și inerția în funcționare la frecvența industrială (50 Hz).

Utilizarea unor frecvențe mărite îmbunătățește caracteristicile dinamice ale amplificatoarelor și conduce la micșorarea dimensiunilor și a greutății lor.

Amplificatoarele magnetice se realizează într-o gamă largă de puter, (de la fracțiuni de wați la sute de kW) și pot înlocui mașinile amplificatoare avînd și avantajul că permit reglarea în jurul punctului zero și că au o stabilitate mai mare de funcționare a sistemului.

Datorită caracteristicilor lor funcționale, amplificatoarele magnetice au găsit cîmp larg de aplicații în comanda automată a mașinilor-unelte fiind utilizate pentru reglarea turației și a sensului de rotație al motoarelor electrice sau ca sisteme excitatoare, ca elemente de comandă pentru efectuarea diverselor comutări (în locul aparatelor cu contacte), în scheme logice, ca elemente auxiliare de comandă etc.

În general, amplificatoarele magnetice se întîlnesc în schemele de acționare și de comandă ale strungurilor grele, la care se impune variația turației pentru a menține viteza de așchiere dorită, precum și la mașinile de rectificat interior și exterior, mașinile de frezat etc.

În figura 4.3 este prezentată schema de principiu folosită la reglarea turației unui motor de curent continuu cu ajutorul amplificatoarelor magnetice.

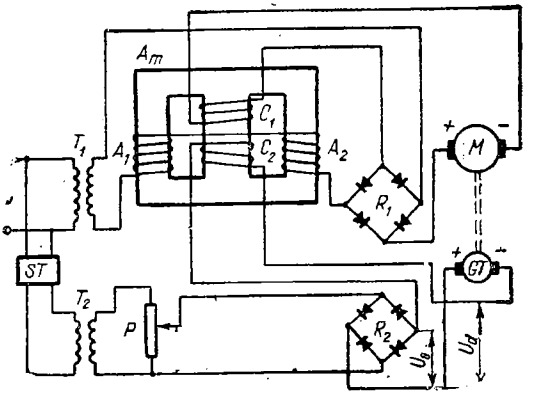


Fig. 4.3. Schema de principiu pentru reglarea turației unui motor de curent continuu cu ajutorul amplificatoarelor magnetice.

Pentru comanda sistemului de reglare se cuplează pe arborele motorului M (de curent continuu) un tahogenerator care dă o tensiune U_d proporțională cu turația motorului de acționare a mașinii-unelte pe care dorim să o menținem constantă. Alimentarea motorului M montat în serie cu înfășurarea C_1 se face de la redresorul R_1, conectat la secundarul transformatorului T_1, prin intermediul înfășurărilor de sarcină A_1 și A_2 ale amplificatorului magnetic.

Înfășurarea de comandă C_2, în serie cu indusul tahogeneratorului GT, este alimentată de la redresorul R_2 cu tensiunea redresată U_0. Alimentarea redresorului R_2 se face cu tensiune stabilizată de la secundarul transformatorului T_2 prin intermediul potențiometrului P prin care se reglează turația motorului M.

Întrucît tensiunea U_d de la bornele tahogeneratorului depinde de turația motorului M și se găsește în opoziție cu tensiunea furnizată de redresorul R_2, curentul care parcurge înfășurarea C_2 în sensul permis de redresorul R_3 este dependent de valoarea $U_0 - U_d$ a tensiunilor în opoziție. La scăderea turației se micșorează tensiunea tahogeneratorului, mărindu-se în consecință diferența $U_0 - U_d$ și curentul în înfășurarea C_2. Aceasta are ca efect micșorarea permeabilității magnetice a miezului de fier, respectiv a inductanțelor proprii ale înfășurărilor A_1 și A_2. Ca urmare, tensiunea la bornele redresorului R_1 care alimentează motorul M crește și se corectează turația motorului la valoarea sa inițială. Procesul este similar cînd turația motorului, datorită unei micșorări a cuplului rezistent, crește.

Amplificatoarele magnetice se pot utiliza la reglarea turației motoarelor asincrone a căror putere nu depășește 15 kW, prin reglarea tensiunii de alimentare a statorului. În figura 4.4 este dată o asemenea schemă de reglare a turației.

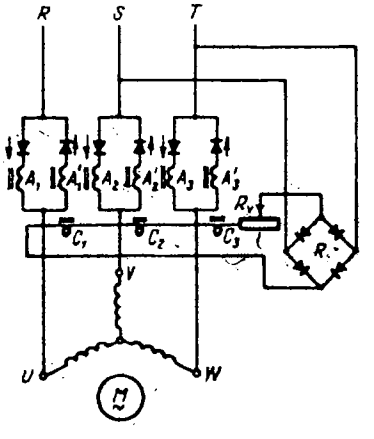


Fig. 4.4. Schema de reglare a turației unui motor asincron trifazat cu ajutorul unui amplificator magnetic:
M — motor electric; $A_1, A_1', A_2, A_2', A_3, A_3'$ —amplificatoare magnetice;
C_1, C_2, C_3 — înfășurări de comandă; R — redresor; R_v — rezistență variabilă.

Variația turației motorului se realizează prin modificarea tensiunii continue aplicată înfășurărilor de comandă C_1, C_2 și C_3, fapt ce determină variația corespunzătoare a tensiunii de alimentare a statorului.

Amplificatorul magnetic poate avea o singură înfășurare de comandă, reducîndu-se astfel dimensiunile de gabarit și greutate, dar aceasta are drept consecință supraîncălzirea motorului cînd funcționează la turații reduse.

Redresoarele utilizate în schemele de reglare pot fi cu seleniu, germaniu sau siliciu și trebuie să asigure funcționarea la un curent egal cu jumătate din curentul pe fază al statorului și o tensiune egală cu căderea de tensiune pe rezistența activă a înfășurării de lucru.

În cazul în care se impune reglarea turației motorului de acționare al mașinii-

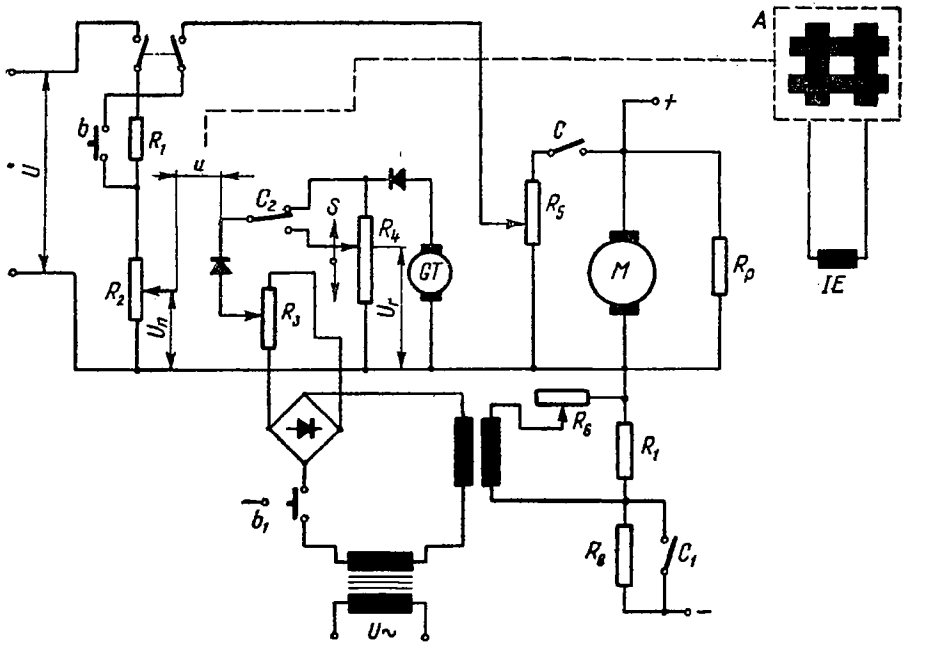


Fig. 4.5. Schema de reglare a turației unui motor de curent continuu în raport cu poziția sculei folosind un amplificator magnetic:

A — amplificator magnetic; *M* — motor de curent continuu cu excitație separată; *IE* — înfășurarea de excitație a motorului de curent continuu; *C*, C_1, C_2 — contacte de comandă; *b*, b_1 — butoane de comandă; R_1, R_7, R_8 — rezistențe fizice; R_2, R_3, R_4, R_5, R_6 — rezistențe variabile; R_p — rezistență de pornire; *GT* — tahogenerator; *S* — suport portsculă.

unelte în funcție de unul din parametrii procesului de așchiere, circuitul de comandă al amplificatorului va trebui să fie alimentat de un curent determinat de un semnal caracteristic parametrului luat în considerare (fig. 4.5).

De exemplu, în cazul în care se impune efectuarea unei strunjiri frontale menținînd viteze de așchiere constante, turația piesei va trebui să fie condiționată de poziția relativă dintre tăișul sculei și axa de rotație a piesei, conform relației

$$n = \frac{1\,000\ v}{\pi D} \text{ rot/min},$$

în care: v = const reprezintă viteza de așchiere, în m/min;
D — diametrul instantaneu la care are loc prelucrarea, în mm.

Pentru reglajul turației corespunzător variației diametrului la care are loc prelucrarea, se poate folosi schema din figura 4.5, în care s-a considerat că acționarea mașinii se face cu un motor de curent continuu *M*, comandat printr-un amplificator magnetic *A*. Funcționarea amplificatorului magnetic este determinată de tensiunea diferențială *U*, rezultată prin modificarea rezistenței R_4, odată cu deplasarea cursorului legat de suportul port-sculă.

Întrucît tensiunea de comandă $U = U_n - U_{reacție}$ este mică, pentru a avea o precizie de reglaj satisfăcătoare se recomandă a folosi amplificatoare magnetice cu două etaje.

4.2. UTILIZAREA REDRESOARELOR COMANDATE PENTRU REGLAREA TURAȚIEI MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU

Ca elemente de bază pentru realizarea redresoarelor comandate s-au folosit în trecut tiratroane și ignitroane. În momentul de față aceste elemente au fost înlocuite cu tiristoare care posedă o serie de avantaje față de primele.

Principiul de lucru al redresoarelor comandate se bazează pe controlul aprinderii tiratroanelor, ignitroanelor sau tiristoarelor, influențîndu-se astfel forma de undă a tensiunii (curentului) redresate, care duce la varierea tensiunii medii la ieșirea din redresor.

Avînd în vedere faptul că în exploatare se mai găsesc unele sisteme de reglare realizate cu elemente ionice, în cele ce urmează se va prezenta foarte pe scurt principiul lor de lucru.

4.2.1. REDRESOARE CU TIRATROANE

Caracteristica de aprindere pentru un tiratron este dată de curba K (fig. 4.6). Această caracteristică separă două domenii: domeniul A, în care tiratronul conduce, și domeniul B, în care nu conduce.

Pentru o tensiune alternativă sinusoidală avînd o anumită amplitudine (curba u_a) se poate determina o curbă a tensiunilor de grilă pentru care tiratronul se aprinde (curba u_{cr}, fig. 4.6). Curba u_{cr} dă valoarea tensiunilor critice, adică a tensiunii ce trebuie aplicată la grilă pentru ca tiratronul să se aprindă. Astfel, pentru ca tiratronul să se aprindă cînd u_a are valoarea U_{a2} este necesar ca la grilă să fie aplicată tensiunea $-U_{g2}$, care are aceeași valoare cu U_{cr2}.

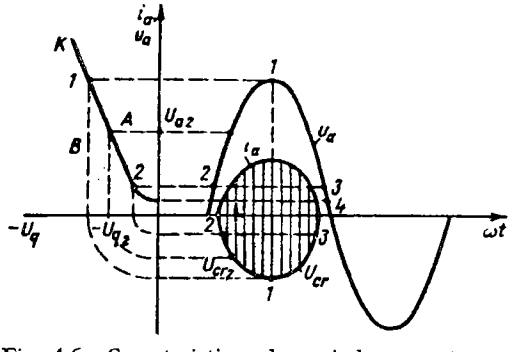


Fig. 4.6. Caracteristica de aprindere pentru un tiratron.

Odată aprins tiratronul nu mai poate fi oprit prin semnalul de comandă aplicat grilei, ci trebuie ca tensiunea anodică să scadă la zero. În consecință, dacă tiratronul este pornit cînd $U_a = U_{a2}$, el va funcționa pînă în punctul *4*, cînd $U_a \simeq 0$. Se realizează astfel redresarea numai a unei porțiuni din alternanța pozitivă a tensiunii. În acest mod prin controlul

aprinderii, tensiunea medie redresată poate să fie variată între o valoare maximă și una minimă.

Există multe posibilități de comandă a aprinderii tiratroanelor. În cele ce urmează se vor prezenta trei metode dintre cele mai utilizate.

În figura 4.7 este prezentată o schemă a unui redresor cu tiratron la care se realizează comanda prin variația tensiunii de negativare a grilei tiratronului.

Circuitul anodic al tiratronului este alimentat cu tensiune alternativă obținută prin transformatorul *Tr* de la rețea. Pe grilă se aplică atît o tensiune alternativă, obținută de la transformatorul *Tr*, cît și o tensiune continuă U_{g0}, a cărei valoare se poate regla.

Tensiunea alternativă pentru comanda grilei este defazată față de cea anodică cu $\frac{\pi}{2}$. Această defazare se realizează de către circuitul *RC* pentru valoarea rezistenței $R = 1/\omega C$. Tensiunea continuă U_{g0} poate fi variată în mod continuu cu ajutorul potențiometrului *P*.

În figura 4.7, *b* sînt date formele de undă ale tensiunii și ale curentului redresat. Prin creșterea tensiunii U_{g0}, punctul de intersecție dintre U_g și U_{cr} se deplasează spre dreapta, micșorîndu-se astfel porțiunea din alternanta pozitivă redresată. În acest fel se micșorează valoarea tensiunii medii redresate, adică $U_{M2} < U_{M1}$.

Deci, prin valoarea tensiunii de negativare a grilei U_{g0} se obține o variație a duratei cît tiratronul conduce și astfel se obține o variație a tensiunii și curentului redresat. Acest procedeu mai este cunoscut sub denumirea de *comandă pe verticală a tiratronului.*

Un alt mod de comandă, *denumit comanda pe orizontală*, constă în modificarea defazajului dintre tensiunea anodică și cea de grilă, ambele tensiuni

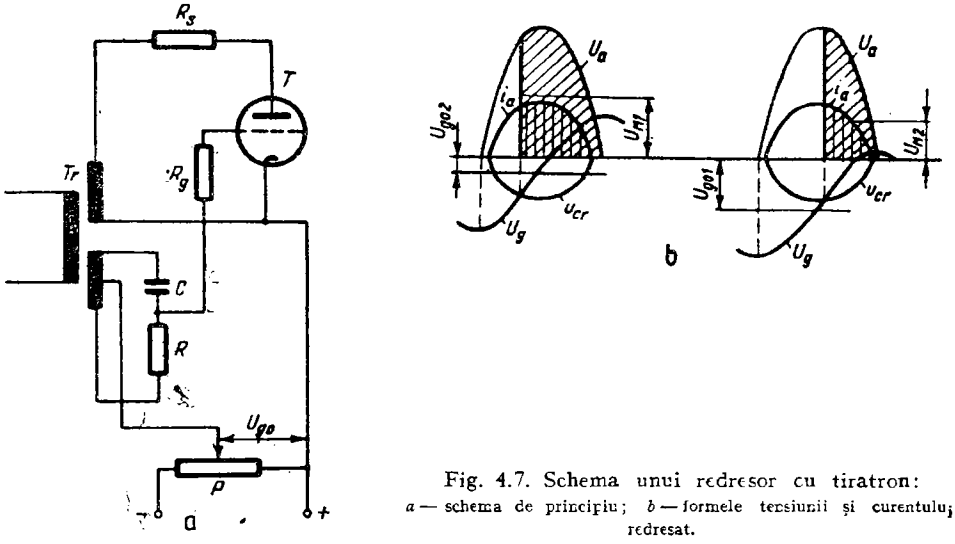


Fig. 4.7. Schema unui redresor cu tiratron:
a — schema de principiu; *b* — formele tensiunii și curentului redresat.

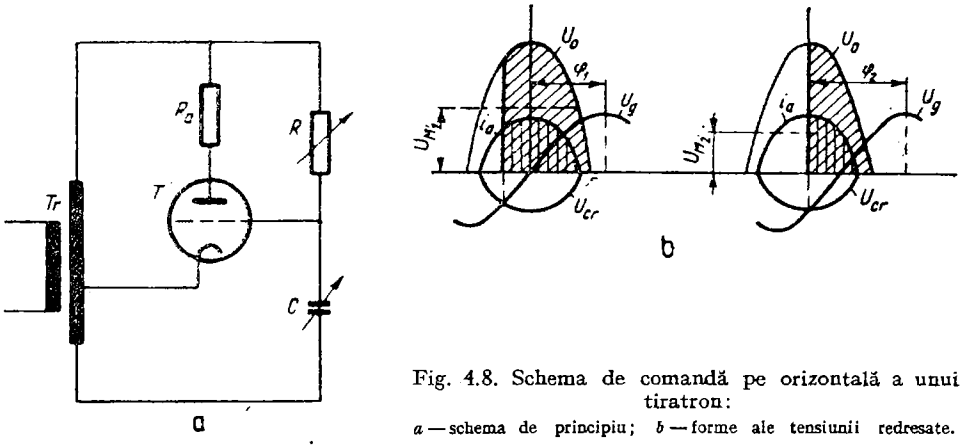


Fig. 4.8. Schema de comandă pe orizontală a unui tiratron:
a — schema de principiu; *b* — forme ale tensiunii redresate.

avînd aceeaşi frecvenţă. În acest scop se poate utiliza schema din figura 4.8, *a* unde, prin reglarea rezistenţei R şi a condensatorului C, se poate modifica defazajul dintre tensiunea de grilă u_g şi cea anodică u_a. Tensiunea u_g este întîrziată faţă de u_a cu unghiul φ (fig. 4.8, *b*), a cărei valoare este dată de relaţia

$$\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2} = \omega CR, \tag{4.1}$$

unde: ω este pulsaţia curentului alternativ;
C — capacitatea condensatorului C;
R — rezistenţa ohmică a rezistenţei R.

Prin mărirea defazajului φ se micşorează porţiunea redresată a unei alternanţe, micşorîndu-se astfel tensiunea şi curentul mediu redresat.

Menţionăm că dacă unghiul de intersecţie între curbele tensiunilor u_g şi u_{cr} este mic, aprinderea tiratronului nu este sigură. Din acest motiv este necesar ca defazajul maxim să fie astfel ales încît acest unghi să aibă valoare cît mai mare.

Acest neajuns este în mare măsură înlăturat dacă pentru comanda tiratronului se utilizează impulsuri de tensiune de scurtă durată şi de amplitudine suficientă. Deoarece curba impulsului se intersectează cu curba u_{cr} sub un unghi mare, momentul aprinderii este determinat cu multă precizie.

În figura 4.9, *a* este ilustrat principiul comenzii tiratronului cu impulsuri suprapuse peste o tensiune continuă u_{gc}, iar în figura 4.9, *b* cu impulsuri suprapuse peste o tensiune alternativă u_{ga}, defazată faţă de u_a cu φ.

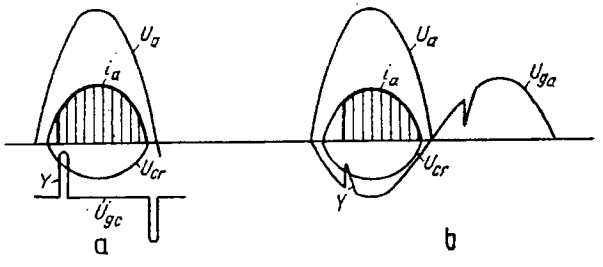


Fig. 4.9. Scheme de comandă prin impulsuri a unui tiratron:
a — comanda prin impulsuri suprapuse peste o tensiune continuă; *b* — comanda prin impulsuri peste o tensiune alternativă.

Redresoarele comandate cu tiratroane şi-au găsit utilizarea pentru reglarea turaţiei şi vitezei de avans la maşini-unelte de diferite tipuri, cum sînt: strunguri, maşini de frezat, maşini de rectificat etc. Menţionăm că în momentul de faţă reglarea turaţiei cu mutatoare ionice este înlocuită prin mutatoare cu tiristoare, care prezintă o serie de avantaje.

4.2.2. REDRESOARE CU TIRISTOARE

Tiristorul, care este un element semiconductor comandat, realizează acelaşi lucru ca tiratronul însă posedă în schimb o serie de avantaje, cum sînt: randament mai ridicat, gabarit redus, insensibilitate faţă de variaţiile temperaturii în limite destul de largi etc. Preţul de cost al tiristoarelor s-a redus simţitor în ultima perioadă, permiţînd folosirea lor în instalaţii pentru reglarea turaţiilor şi avansurilor maşinilor-unelte. Tiristorul are trei terminale: anod, catod, electrod de comandă (poartă).

Pentru a înţelege mai bine particularităţile legate de comanda tiristoarelor, în figura 4.10 se dă caracteristica de funcţionare curent anodic — tensiune anodică $I_A = f(U_A)$.

Se disting trei porţiuni, şi anume:

● Porţiunea *a* reprezintă curentul de scăpări inverse în funcţie de tensiunea inversă. La depăşirea tensiunii maxime inverse $U_{i\,max}$ curentul invers începe să crească foarte repede. Această limită a tensiunii inverse nu trebuie să se atingă în funcţionarea tiristorului.

● Porţiunea *b* reprezintă dependenţa curentului de scăpări directe funcţie de tensiunea directă. Pentru fiecare tip de tiristor există o anumită tensiune maximă de amorsare notată pe diagramă cu U_{K0}.

● Porţiunea *c* reprezintă creşterea curentului după ce tensiunea de amorsare a fost atinsă. Aceasta este caracteristica de conducţie a tiristorului.

Dacă curentul de comandă I_S are valoare mică, tensiunea de amorsare este egală cu tensiunea maximă U_{K0}. Pe măsură ce curentul de comandă creşte, tensiunea anodică de amorsare scade. La o anumită valoare a curentului I_S, U_K devine practic zero. Pentru o exploatare judicioasă trebuie ca amplitudinea tensiunii anodice să nu fie mai mare de U_{K0} iar tensiunea inversă să nu depăşească $U_{i\,max}$.

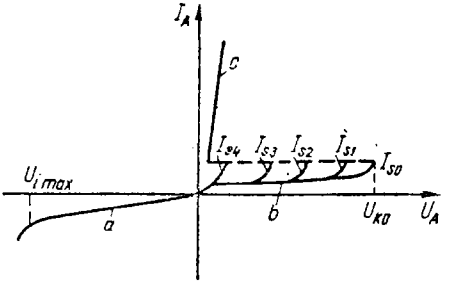


Fig. 4.10. Caracteristica de funcţionare a tiristoarelor.

Comanda tiristoarelor se realizează cu impulsuri pozitive avînd o asemenea valoare a tensiunii astfel încît tiristorul să înceapă să conducă. Stingerea tiristorului cînd acesta este alimentat în curent alternativ se realizează în timpul alternanţei negative a tensiunii anodice.

Schemele redresoare realizate cu ajutorul tiristoarelor efectuează în prin-

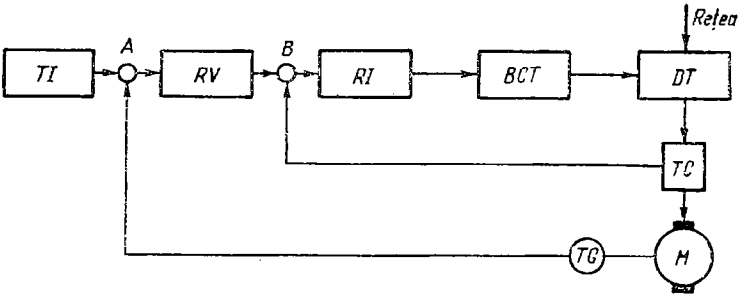


Fig. 4.11. Schema bloc pentru reglarea turației unui motor de curent continuu prin tiristoare.

cipiu aceleași funcțiuni ca cele cu tiratroane, adică variază tensiunea și curentul mediu redresat. O schemă bloc pentru reglarea turației motorului de curent continuu este dată în figura 4.11.

Blocul notat cu *TI* (turație impusă) are rolul de a stabili turația necesară pentru motorul *M*. Acest bloc dă la ieșire o anumită tensiune continuă care se poate regla, corespunzător turațiilor ce le dorim la motorul *M*. În punctul *A* se compară valoarea impusă a tensiunii (turației) cu valoarea reală dată de tahogeneratorul *TG*.

Dacă cele două tensiuni diferă, regulatorul de viteză *RV* va da la ieșire un semnal care, prin intermediul blocurilor *RI*, *BCT* și *DT*, va varia tensiunea de alimentare a motorului *M*, menținînd turația la valoarea fixată prin blocul *TI*.

Tensiunea de ieșire din blocul *RV* produce curentul necesar regulatorului de curent *RI*. Acest curent se compară în punctul *B* cu curentul real absorbit de motor și care se obține, de la circuitul de alimentare al motorului, cu transformatorul de curent *TC*.

O diferență a valorilor celor doi curenți provoacă o schimbare a tensiunii de ieșire din regulatorul de curent care acționează asupra blocului de comandă a tiristoarelor *BCT*.

Impulsurile pentru comanda tiristoarelor sînt produse de către blocul *BCT*. Aceste impulsuri au o anumită succesiune în timp, în funcție de tensiunea dată de regulatorul de curent, influențînd astfel unghiul de comandă al tiristoarelor și deci tensiunea medie redresată de blocul *DT*.

Dispozitivul cu tiristoare *DT*, care este alimentat de la rețeaua de curent alternativ, asigură alimentarea rotorului motorului de curent continuu notat în schemă cu *M*. Înfășurarea de excitație a acestui motor este alimentată de la un redresor separat.

Prin urmare, redresoarele comandate cu tiristoare asigură atît reglarea turației într-un anumit domeniu cît și menținerea constantă a acesteia.

În cele ce urmează ne vom opri pe scurt asupra blocului de comandă a tiristoarelor *BCT* și mult mai pe larg se va prezenta modul de lucru și diferitele variante utilizate pentru dispozitivul cu tiristoare *DT*.

Dispozitivul de comandă al unui tiristor pentru producerea impulsurilor de amorsare la intervale reglabile, în raport cu o referință, constă dintr-un ansamblu electronic de mică putere. El are o importanță deosebită deoarece

de calitatea lui depinde calitatea instalației redresoare în ansamblu. De aceea trebuie să îndeplinească o serie de condiții, și anume:

— o mare precizie a defazajului între impulsuri și în raport cu tensiunea anodică a tiristorului;
— o amplitudine și durată suficientă a impulsurilor;
— un front abrupt al impulsurilor;
— un răspuns rapid;
— insensibilitate la variațiile tensiunii de alimentare și ale temperaturii mediului ambiant;
— siguranță cît mai mare în funcționare.

Un dispozitiv de comandă este compus din următoarele subansambluri importante (fig. 4.12):

— generator al funcției de întîrziere, *GF*;
— comparator, care transformă tensiunea continuă de comandă într-un timp de întîrziere, *C*;
— derivator, *D*;
— etaj de amplificare, care amplifică impulsurile dîndu-le în același timp o durată bine determinată, *AF*.

Funcția de întîrziere constă dintr-o undă în dinți de ferăstrău, care trebuie să îndeplinească anumite condiții, și anume: să fie reproductibilă, să fie liniară iar sincronizarea ei cu tensiunea rețelei să fie independentă de deformările acesteia. Această funcție poate fi produsă cu ajutorul unui circuit conținînd rezistențe, condensatoare și diode.

Un generator capabil să dea la ieșire o funcție de întîrziere care să satisfacă condițiile impuse este compus din trei generatoare elementare de undă.

Generatorul de funcție este alimentat atît cu tensiune continuă stabilizată cît și cu o tensiune de referință luată direct de la rețeaua de curent alternativ [15]. Acest generator produce două trenuri de impulsuri dreptunghiulare cu durata de 180° (unul pozitiv și altul negativ) și un tren de impulsuri dinți de ferăstrău. Suma celor trei trenuri de impulsuri dă funcția de întîrziere (fig. 4.13, *a*) ce rezultă la ieșirea generatorului de funcții.

Comparatorul *C* este compus dintr-un circuit basculant și are rolul de a compara tensiunea continuă U_r dată de regulatorul de curent *RI* (fig. 4.11) cu semnalul primit de la generatorul de funcție *GF* (fig. 4.12). La ieșirea din acest bloc se obțin impulsuri negative de tensiune, lățimea cărora depinde de valoarea tensiunii U_r (fig. 4.13, *b*).

Aceste impulsuri sînt derivate în blocul *D*, obținîndu-se seria de impulsuri cu un front abrupt, reprezentată în figura 4.13, *c*. Prin amplificarea acestora în blocul *AF* se obțin impulsurile de comandă pentru tiristor (fig. 4.13, *d*).

Dispozitivul cu tiristoare *DT* poate fi realizat în diferite variante, în funcție de faptul dacă acesta este alimentat de la rețeaua monofazată sau trifazată, dacă poate realiza frînarea sau nu, dacă permite sau nu rotirea motorului în ambele sensuri.

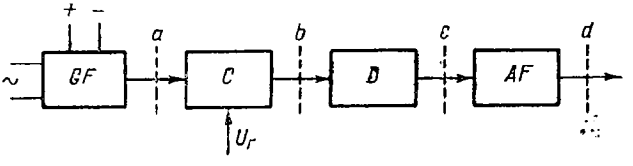


Fig. 4.12. Schema bloc a unui dispozitiv de comandă cu tiristoare.

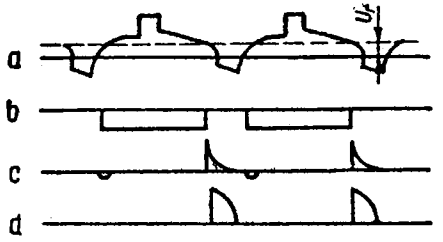


Fig. 4.13. Caracteristicile impulsurilor date de un generator de comandă:
a — impulsurile generatorului de funcție; *b* — impulsurile negative de tensiune; *c* — impulsurile derivate; *d* — impulsurile de comandă.

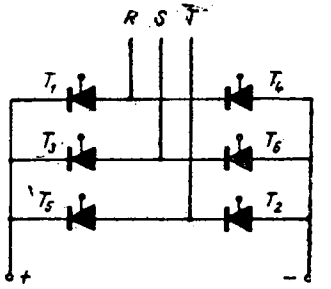


Fig. 4.14. Schema unui dispozitiv cu tiristoare alimentat de la rețeaua de curent alternativ trifazat.

Un dispozitiv cu tiristoare alimentat de la rețeaua trifazată care nu permite inversarea sensului motorului este prezentat în figura 4.14. Acesta este compus din șase tiristoare $T_1 \ldots T_6$, conectate așa cum rezultă din figură. Tiristoarele T_1, T_3, T_5 realizează redresarea alternanței pozitive, iar T_2, T_4, T_6 a alternanței negative.

Impulsurile de comandă I_1, I_3, I_5 și respectiv I_2, I_4, I_6 sînt date de blocul *BCT* la un unghi de comandă α considerat față de punctele de intersecție a curbelor tensiunilor U_R cu U_T, U_R cu U_S și respectiv U_S cu U_T (fig. 4.15). Variind unghiul de comandă, tensiunea medie U_m variază conform relației

$$U_m = U_0 \cos \alpha, \qquad (4.2)$$

în care: $U_0 = 0{,}827\ U_2$;

U_2 este valoarea efectivă a tensiunii pe o fază.

Dependența U_m/U_0 funcție de unghiul α este dată în figura 4.16.

În domeniul $0 < \alpha < 90°$ dispozitivul cu tiristoare lucrează în domeniul conectării directe, adică acesta preia energia din rețeaua trifazată și o transmite

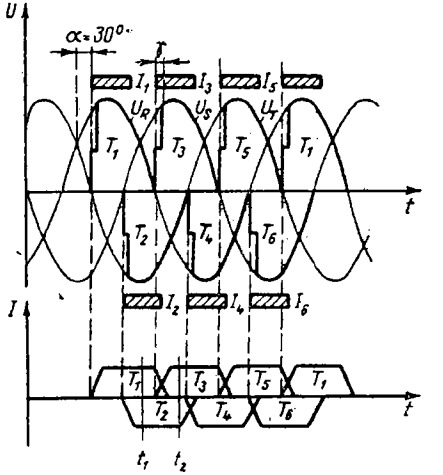


Fig. 4.15. Caracteristicile impulsurilor de comandă ale dispozitivelor cu tiristoare alimentate cu curent alternativ trifazat.

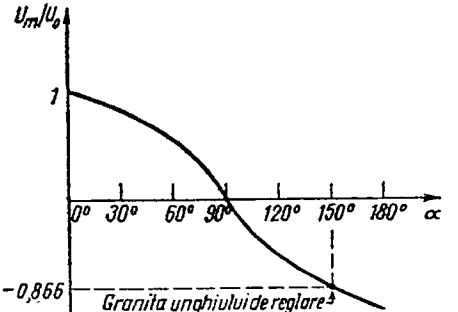


Fig. 4.16. Caracteristica de variație a tensiunii medii funcție de unghiul de comandă.

motorului electric M. Pentru $90° < \alpha < 180°$ tensiunea redresată este negativă. În regim permanent prezența unei tensiuni negative ar însemna circulația unui curent în sens invers în sarcină, deci și în elementele redresoare, ceea ce nu este posibil. În cazul cînd în circuitul de sarcină există o tensiune electromotoare (în circuitul de față există tensiunea contraelectromotoare a motorului), valoarea medie a tensiunii redresate poate să devină negativă iar sensul de circulație al curentului se va menține ca în cazul unei tensiuni redresate pozitive. În acest caz, dispozitivul redresor va lucra în regim de invertor, adică va transforma energia produsă de motor, care lucrează în regim de generator, în energie electrică ce se va ceda rețelei de curent alternativ. Se realizează astfel frînarea cu recuperare a motorului de curent continuu. În realitate unghiul α se mărește numai pînă la 150°, asigurîndu-se o siguranță de 30°.

Pentru aprinderea celor șase tiristoare ale redresorului sînt necesare impulsuri decalate între ele cu 60° (fig. 4.15), care sînt dirijate pentru comandă în ordinea tiristoarelor T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_1 etc. Este necesar ca durata impulsurilor să fie de cel puțin 70°, adică aproximativ 4 m/s la frecvența de 50 Hz, pentru a se putea stabili curentul în tiristoare. În figura 4.15 sînt reprezentate atît tensiunile U_R, U_S, U_T cît și poziția impulsurilor și ordinea de aprindere a tiristoarelor. Tiristoarele au fost plasate simbolic deasupra și dedesubtul axei timpului pentru a ilustra că T_1, T_3, T_5 redresează alternanța pozitivă iar T_2, T_4, T_6 alternanța negativă. În partea de jos a figurii sînt reprezentați curenții redresați de fiecare tiristor, așezați de asemenea simbolic de o parte și de alta a orizontalei. În realitate curentul tuturor tiristoarelor are același sens și prin urmare curentul total al redresorului este în orice moment suma curenților din ambele părți ale orizontalei.

Aprinderea tiristoarelor nu are loc instantaneu la apariția impulsurilor de comandă ci este necesară o perioadă pînă cînd curentul crește la valoarea sa maximă. Această perioadă este notată în figura 4.15 cu unghiul γ. La anularea tensiunii anodice aplicate tiristorului în mod analog curentul nu scade instantaneu ci treptat pînă cînd devine zero.

În orice moment conduc două tiristoare iar curentul total este suma celor doi curenți care trec prin aceste tiristoare. De exemplu în momentul t_1 conduc tiristoarele T_1 și T_2 iar în t_2, T_3 și T_2 (fig. 4.15).

Forma de undă și valoarea medie a tensiunii redresate pentru diferite valori ale unghiului de comandă α sînt date în figura 4.17. De aici se vede

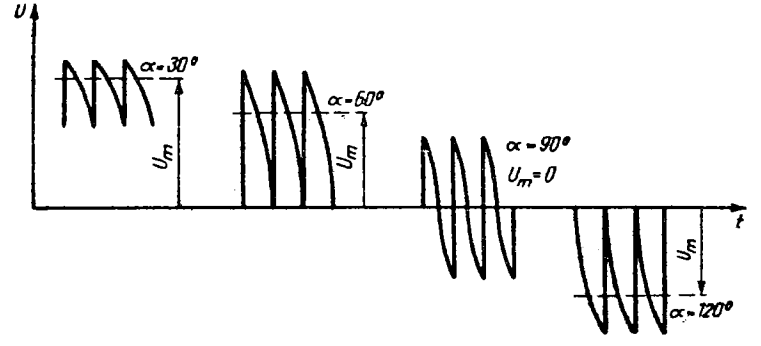


Fig. 4.17. Forma de undă a tensiunii pentru diferite valori ale unghiului de comandă.

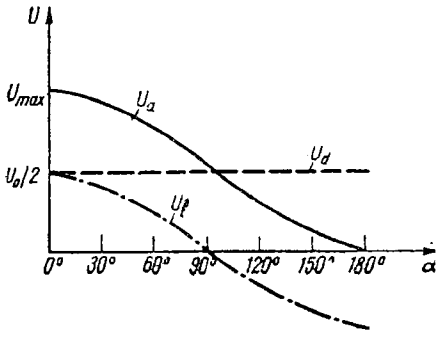


Fig. 4.18. Caracteristica de variație a tensiunii la dispozitive de comandă cu tiristoare și diode avînd funcția de redresoare în punte semicomandată în cazul comenzii motoarelor ireversibile.

că tensiunea la ieșirea dispozitivului cu tiristoare nu este o tensiune continuă ideală ci o tensiune pulsatorie. Aceste pulsații de tensiune duc la pulsații de curent a căror valoare depinde de inductivitatea înfășurării indusului motorului de curent continuu. Diminuarea acestor pulsații de curent se poate realiza cu un filtru de netezire așezat în circuitul rotorului.

În cazul cînd nu este necesară frînarea cu recuperare a motorului, tiristoarele T_2, T_4, T_6 (fig. 4.14) pot fi înlocuite cu diode, obținîndu-se redresoare în punte semicomandată. În acest caz grupul de diode redresoare va da o tensiune medie U_d, constantă, iar grupul de tiristoare o tensiune u_t care variază odată cu unghiul α (fig. 4.18). Pentru varierea tensiunii totale $u_a = U_d + u_t$ între 0 și U_{max} este necesară varierea unghiului α între 0 și 180°.

Aceste dispozitive de redresare prezintă avantaje nu numai datorită faptului că jumătate din elementele redresoare sînt elemente simple, ci și datorită faptului că dispozitivul de comandă a tiristoarelor *BCT* trebuie să producă numai trei impulsuri în timpul unei perioade în loc de șase, fapt ce simplifică construcția acestui dispozitiv.

În cazul motoarelor se poate utiliza pentru inversarea sensului de rotație una din cele trei scheme din figura 4.19:

a — inversarea sensului fluxului în înfășurarea de excitație fără schimbarea sensului curentului în indus;

b — inversarea sensului curentului din indus cu ajutorul unui comutator;

c — inversarea sensului curentului din indus cu ajutorul a două grupe de tiristoare.

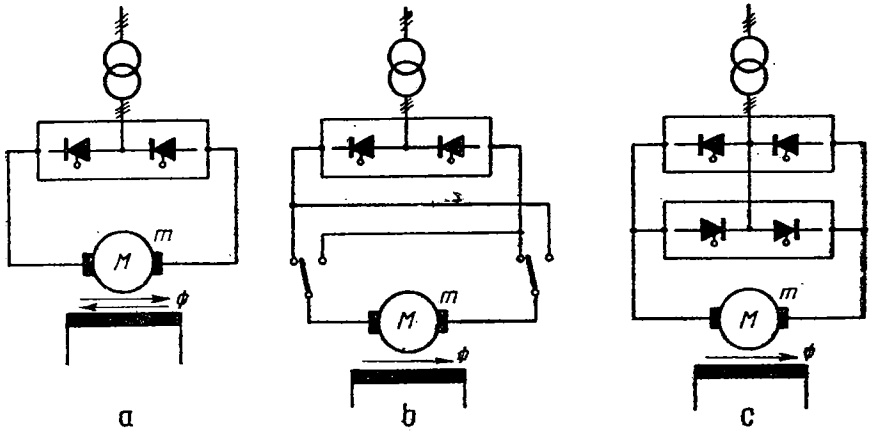


Fig. 4.19. Scheme de comandă cu tiristoare și diode în cazul comenzii motoarelor ireversibile:
a — fără schimbarea sensului curentului prin indus; *b* — cu inversarea curentului din indus printr-un comutator; *c* — cu inversarea sensului curentului prin indus cu două grupe de tiristoare.

Schema din figura 4.19, c asigură cel mai scurt timp de inversare şi caracteristici dinamice de funcţionare cu mult mai bune decît primele două scheme. În acelaşi timp această schemă asigură, de asemenea, frînarea motorului cu recuperarea energiei.

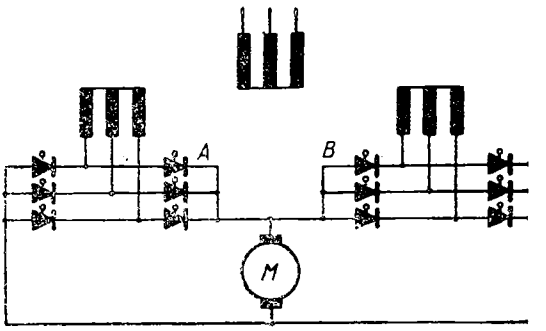


Fig. 4.20. Schema dispozitivului de comandă cu două grupe de tiristoare avînd funcţia de redresor-invertor.

Dispozitivul cu tiristoare din această schemă este compus din două grupuri de tiristoare care furnizează două tensiuni reglabile şi de polarităţi opuse. Instalaţiile respective permit ca punctul de funcţionare al motorului electric să se plaseze în oricare din cele patru cadrane ale planului *UI*, în funcţie de unghiul de aprindere al grupurilor de tiristoare. Astfel, dacă unghiul de comandă $0 < \alpha < 90°$, unul din grupurile de tiristoare, de exemplu *A* (fig. 4.20), funcţionează în regim de redresor pentru sensul de rotaţie *1*, iar pentru $90 < \alpha < 180°$, în regim de invertor, realizînd frînarea recuperativă pentru sensul de rotaţie *2*. Grupul de tiristoare *B* conectat în opoziţie cu primul, funcţionează în regim de redresor pentru sensul de rotire *2* şi în regim de invertor pentru sensul de rotire *1*. În acest fel se realizează atît inversarea sensului de rotaţie cît şi frînarea cu recuperare în ambele sensuri de rotaţie ale motorului.

În schema din figura 4.20, cele două grupuri identice de tiristoare *A* şi *B* sînt conectate în mod opus la bornele indusului motorului. Aceste scheme sînt cunoscute sub denumirea de *conexiune în cruce*. Unghiurile de comandă ale celor două grupuri de tiristoare sînt suplimentare, adică satisfac relaţia

$$\alpha_B = 180 - \alpha_A.$$

Din acest motiv, unul din grupuri funcţionează în regim de redresor şi celălalt de invertor. Prin urmare, cele două grupuri furnizează tensiuni egale dar de sens contrar.

Modul de funcţionare este următorul: dacă unghiul de comandă al unui grup, de exemplu grupul *A*, este $0 < \alpha_{A_1} < 90°$ acest grup va funcţiona în regim de redresor, furnizînd o tensiune continuă care va produce rotirea motorului într-un sens. Dacă la un moment dat unghiul de comandă creşte la $\alpha_{A_2} > \alpha_{A_1}$ valoarea medie a tensiunii redresate de grupul *A* va scădea, însă tensiunea electromotoare produsă de indus se păstrează la valoarea avută înainte datorită inerţiei maselor în mişcare. Această tensiune electromotoare este mai mare decît valoarea (în modul) tensiunii medii furnizate de grupul *B* şi acest grup intră în regim de invertor, livrînd reţelei energia motorului transformat în generator. Pe seama acestei energii recuperate se produce frînarea motorului pînă la turaţia determinată de tensiunea medie redresată a grupului *A*. Dacă $\alpha_A = 90°$, tensiunea medie redresată de grupul *A* devine zero şi motorul se va frîna cu recuperare pînă la oprire.

Dacă α_A se reglează la o valoare mai mare de 90° atunci motorul va fi frînat pînă la oprire după care grupul *B* va lucra în regim de redresor, permiţînd rotirea motorului în sens opus faţă de sensul avut înainte.

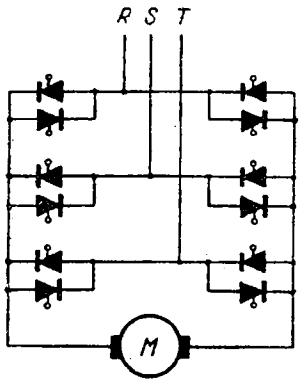


Fig. 4.21. Schema de comutație anteparalelă a două grupuri de tiristoare folosite la comanda unui motor reversibil.

Dacă se reduce din nou unghiul α_A atunci va avea loc un proces invers celui descris mai sus, adică grupul *A* va lucra în regim de invertor realizînd frînarea motorului electric. Cînd α_A devine mai mic ca 90° se produce o nouă reversare a sensului de rotație al motorului electric.

În cazurile în care nu se impun condiții severe privind rapiditatea inversării sensului motorului se poate folosi schema cu comutație antiparalelă a celor două grupuri de tiristoare (fig. 4.21).

Într-o asemenea schemă în orice moment numai un grup redresor este în funcțiune iar celălalt este complet blocat. La inversarea sensului se reduce tensiunea grupului în funcțiune pînă la valoarea zero, după care se blochează impulsurile de comandă către acest grup. După trecerea unui timp de cîteva milisecunde, necesar pentru siguranță, se comandă cel de-al doilea grup, care va lucra în regim invertor realizînd frînarea motorului. În continuare acest ultim grup va funcționa ca redresor realizînd rotirea motorului în sens invers.

În figura 4.22 se dă o schemă completă a variatorului de turație cu tiristoare pentru un motor de curent continuu cu funcționare în ambele sensuri de rotație avînd dispozitivul cu tiristoare conectate în cruce.

Conectarea la rețea se realizează prin întreruptorul general *IG* și contactorul *c*.

Pentru comanda dispozitivului cu tiristoare se utilizează blocurile:

TI — blocul pentru fixarea turației necesare;
RV — regulatorul de viteză;
RI — regulatorul de curent;
BCT — blocul de comandă a tiristoarelor;
AR — amplificatorul de reacție.

Din schemă se observă că pentru comanda grupurilor de tiristoare $DT_1 + DT_2$ și $DT_3 + DT_4$ se utilizează cîte două blocuri *RI* și *BCT*. Tensiunea de referință este introdusă în blocurile *BCT* prin intermediul blocului *PS*, care asigură o protecție auxiliară asupra dispozitivului cu tiristoare.

Alimentarea dispozitivelor cu tiristoare se realizează prin intermediul transformatorului trifazat T_{r1}, iar a dispozitivului redresor *R* prin transformatorul T_{r2}. Redresorul *R* servește pentru alimentarea înfășurării de excitație a motorului electric *IEM*.

Reglarea turației se realizează numai prin varierea tensiunii de alimentare a indusului motorului, menținîndu-se fluxul de excitație la o valoare constantă egală cu fluxul nominal.

Turația necesară se stabilește cu ajutorul blocului *TI*, iar menținerea acestora la valoare constantă se realizează prin intermediul regulatorului de viteză *RV*. Acesta compară tensiunea corespunzătoare turației impuse cu tensiunea dată de tahogeneratorul *TG*, fixat rigid de axul motorului *M*

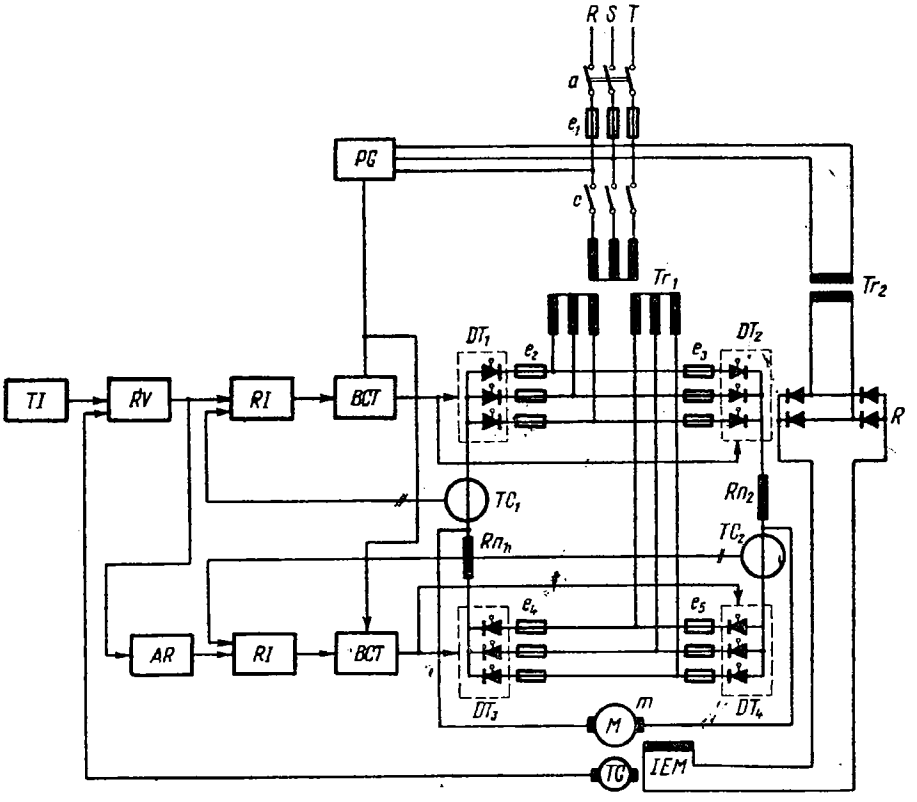


Fig. 4.22. Schema variatorului de turaţii reversibile comandat prin tiristoare.

şi dă comanda de variere a tensiunii redresate în cazul cînd mărimile comparate diferă. Prin intermediul blocurilor *RI* şi al transformatoarelor de curent *TC1* şi *TC2* se asigură menţinerea constantă a curentului rotoric absorbit de motor.

Siguranţele *e*1 asigură protecţia întregului sistem contra scurtcircuitelor, iar siguranţele *e*2. . .*e*5 asigură protecţia dispozitivelor cu tiristoare. Pentru limitarea şi netezirea curenţilor continui din circuitele tiristoarelor se utilizează regulatoarele de netezire R_{n1} şi R_{n2}.

În ultima perioadă se folosesc tot mai mult dispozitive tiristorizate pentru reglarea turaţiilor motoarelor de curent continuu utilizate la maşinile-unelte, atît în lanţurile cinematice principale ale maşinilor-unelte cît, mai ales, a celor de avans.

Se utilizează atît sisteme alimentate la reţeaua monofazată cît şi la cea trifazată. Pentru cele monofazate tensiunea de alimentare este de 220 sau 380 V, iar pentru cele trifazate de 380 şi 500 V. Puterea sistemelor monofazate ajunge pînă la 10 kW iar a celor trifazate depăşeşte 300 kW.

Pentru acţionarea lanţurilor cinematice principale ale maşinilor-unelte, dispozitivele tiristorizate trebuie să permită reglarea turaţiei la putere constantă în domeniul de turaţii permis de motor şi în trepte fine. În acest caz

dispozitivul cu tiristoare servește pentru varierea tensiunii de alimentare a înfășurării de excitație a motorului, în timp ce rotorul se alimentează cu tensiune continuă de valoare constantă. Se poate regla turația într-un domeniu de maximum 4,2: 1 prin utilizarea motoarelor de curent continuu obișnuit și de 9,3: 1 pentru motoare electrice speciale. Utilizînd o cutie de viteze cu două trepte de turații se pot atinge raporturi de reglare de peste 250 chiar cu motoare de curent continuu obișnuite.

Astfel firma Johnes Lamson din S.U.A. produce centre de prelucrare de tipul TNC la care turația arborelui principal variază continuu de la 12 rot/min la 3 000 rot/min. Aceasta se obține cu un motor de curent continuu la care turația se reglează la putere constantă în raport de 4: 1, cuplat cu o cutie de viteze cu două trepte.

Reglarea turației lanțurilor cinematice principale se poate obține și prin varierea combinată a turației motorului, la putere și la cuplu constante. În acest caz o mare importanță trebuie dată alegerii domeniului de reglare prin cele două metode.

Pentru sistemele de acționare ale lanțurilor de avans de la mașinile-unelte cu comandă numerică se cer viteze de deplasare rapidă de circa 10 n/mm și viteze de avans între 1 mm/min și 2. . .3 m/min. Deci aici domeniul total de reglare atinge 10 000 și chiar mai mult.

În acest scop se folosesc motoare cu cuplu mărit care au indusul alimentat cu ajutorul unor dispozitive tiristorizate. Se realizează astfel o reglare la cuplu constant în domenii destul de largi.

În țara noastră se fabrică variatorul V3 — 3 cu motoare clasice de curent continuu avînd puteri între 5,5 și 15 kW și reglarea continuă a turației între 130 și 3 000 rot/min. Aceste variatoare sînt destinate în special acționării avansurilor la mașinile de alezat și frezat. Se produc de asemenea, variatoarele V3 — 2 utilizînd motoare de curent continuu avînd întrefier axial și rotor disc. Puterea acestor variatoare este 0,75. . .5,5 kW, avînd posibilitatea reglării continue a turației la cuplu constant cu domeniul de reglare 1: 1 000. Reglarea turației se face între 0 și $\pm$ 1 000 rot/min, cu posibilitatea de obținere a turației maxime fixe $\pm$ 3 000 rot/min și a turației minime fixe $\pm$ 3 rot/min. Variatoarele V3 — 2 sînt destinate în special acționării lanțurilor de avans la mașinile-unelte cu comandă numerică.

4.3. REGLAREA ELECTROMECANICĂ A TURAȚIILOR LA MAȘINILE-UNELTE

În construcția mașinilor-unelte, reglarea electromecanică a turațiilor permite simplificarea ansamblului cinematic al cutiilor de viteze și a mecanismelor necesare pentru comanda acestora. Aceste avantaje se impun a fi luate în considerare îndeosebi la mașinile-unelte grele (de exemplu strunguri carusel) precum și în cazul unor mașini-unelte care necesită acoperirea unor domenii largi de reglare a turației. Caracteristicile constructive și funcționale ale sistemelor de reglare electromecanică a turației asigură condiții pentru o automatizare relativ simplă a mașinilor-unelte și pentru aplicarea sistemelor de comandă după program.

Reglarea electromecanică a turațiilor se bazează pe folosirea motoarelor electrice cu turație reglabilă pentru acționarea cutiilor de viteze, astfel încît prin îmbinarea rațională a caracteristicilor lor funcționale să se realizeze cerințele dictate de specificul prelucrărilor pentru care a fost destinată mașina. În acest scop la alegerea sistemului de reglare este necesar să fie luate în considerare o serie de condiții, și anume:

— respectarea condițiilor cinematice specifice cutiilor de viteze pentru mașinile-unelte;
— utilizarea la maximum a posibilităților de reglare electrică;
— alegerea variantei optime din punct de vedere tehnico-economic.

Sistemele de reglare electromecanică sînt realizate atît cu motoare electrice de curent continuu cît și de curent alternativ, turațiile la arborele principal al mașinilor-unelte putînd fi obținute într-un domeniu dat printr-o variație continuă sau în trepte.

4.3.1. REGLAREA CONTINUĂ A TURAȚIILOR ARBORELUI PRINCIPAL FOLOSIND SISTEME ELECTROMECANICE

Pentru realizarea unui reglaj continuu al turațiilor într-un domeniu dat D_{Mu}, impus de condițiile de prelucrare la arborele principal al mașinii-unelte, este necesar să se poată obține integral infinitatea valorilor existente între cele două turații limită n_{max} și n_{min}, care mărginesc acest domeniu.

Această condiție se obține prin combinarea posibilităților de reglare continuă oferite de motorul de acționare cu un sistem de reglare mecanică în trepte. Luînd în considerare caracteristicile ansamblului sistemului de reglare (fig. 4.23) se poate exprima valoarea domeniului de reglare al mașinii-unelte sub forma

$$D_{Mu} = D_m \cdot D_E, \tag{4.3}$$

în care: D_m reprezintă domeniul de reglare obținut prin variatorul mecanic de turații (cutia de viteze);
D_E — domeniul de reglare al motorului electric.

Se constată că pentru continuitatea reglajului este necesar ca în condiția limită, valoarea maximă a unei grupe de turații obținute pe cale mecanică să fie suprapusă turației minime din grupa învecinată, imediat superioară. Întrucît raportul de reglare admis de grupul de angrenaje existent între doi arbori succesivi, conducător-condus, este limitat în condițiile mașinilor-unelte de considerente constructive la o valoare $R_n = \frac{n'_{max}}{n'_{min}} \leqslant 8$, utilizarea rațională a posibilităților oferite de sistemele de reglare electromecanică recomandă acoperirea acestui interval printr-un număr minim de comenzi ale sistemului mecanic de variație a turației. Această cerință poate fi realizată în condiții optime dacă motorul electric asigură

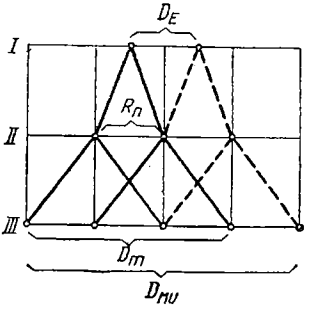


Fig. 4.23. Rețeaua de reglare electromecanică a turațiilor.

acoperirea unui reglaj continuu al turației pe întregul domeniu de reglare cuprins între două turații succesive obținute pe cale mecanică prin unul din mecanismele elementare existente în cutia de viteze. Din considerente de rezistență se recomandă ca turațiile succesive cu treapta de reglare minimă să fie realizate de primul mecanism elementar al sistemului de reglare mecanică. Considerînd că mecanismul elementar cu raport minim între turațiile succesive pe care le determină are un număr k de trepte de transmitere a mișcării, rezultă că domeniul de reglare al motorului va trebui să satisfacă relația

$$D_E \geqslant \sqrt[k-1]{R_n} = \sqrt[k-1]{\frac{n'_{max}}{n'_{min}}}, \tag{4.4}$$

în care: n'_{max} reprezintă turația maximă determinată de mecanismul elementar pentru o anumită turație a arborelui conducător;

n'_{min} — turația minimă transmisă prin mecanismul elementar în condițiile date.

Pentru valoarea limită recomandată $R_n \leq 8$, în condițiile unor cutii de viteze normale la care numărul turațiilor existente la mecanismele elementare este 2 sau 3, se vor obține pentru domeniul de reglare electric limitele:

$D_E = 8$ pentru $k = 2$;
$D_E = 2{,}83$ pentru $k = 3$.

În cazul motoarelor de curent continuu, utilizarea unei valori $k = 2$ impune folosirea posibilității de variație atît a fluxului cît și a tensiunii. În cazul în care în cutia de viteze există și mecanisme cu trei transmisii mecanice între doi arbori succesivi ($k = 3$) se poate folosi reglarea turației fie numai prin variația fluxului fie a tensiunii. Se impune observația că, întrucît posibilitățile de variație continuă a turației la motoarele electrice acoperă în general domeniile $D_E = 3$, într-un sistem de reglare electromecanic nu este recomandabil să se folosească în ansamblul cinematic al cutiei de viteze decît cel mult o grupă de mecanisme cu trei transmisii.

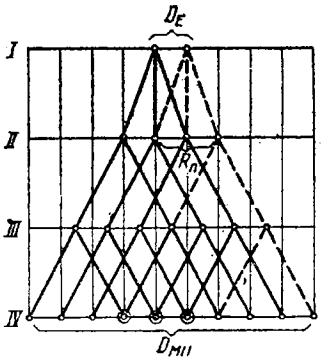


Fig. 4.24. Rețea de reglare electromecanică a turațiilor folosind în cutia de viteze un mecanism cu trei trepte de reglare mecanică.

Folosirea grupei de reglare mecanică avînd trei transmisii va fi dictată de valoarea domeniului de reglare a motorului electric luînd în considerație condiția (4.4). Toate celelalte mecanisme din cutia de viteze vor avea două transmisii, cu domeniul de reglare $R_n = R_{n_{max}}$ (fig. 4.24). În aceste condiții, expresia (4.3) corespunzătoare domeniului de reglare la arborele principal al mașinii-unelte poate lua forma

$$D_{Mu} = R_n^{N_k} \cdot D_E, \tag{4.5}$$

în care N_k reprezintă numărul grupelor de transmisii mecanice din cutia de viteză.

Analiza relațiilor (4.3) și (4.5) evidențiază faptul că valoarea domeniului de reglare asigurat de motor influențează structura sistemului de reglare mecanic.

Pentru un domeniu $D_E = 2{,}83$, utilizarea unui mecanism elementar cu trei trepte de transmitere permite realizarea unui domeniu de reglare total maxim în condițiile unui anumit număr de mecanisme elementare (fig. 4.25). Dacă însă $D_E = 8$, folosirea mecanismelor elementare avînd $k = 3$ nu se justifică, domeniul de reglare maxim realizîndu-se mai simplu prin folosirea între arbori succesiv a două transmisii.

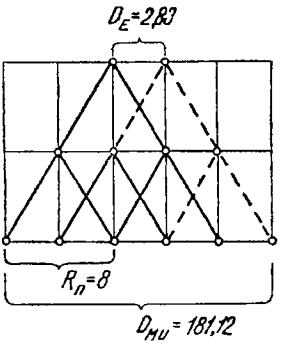


Fig. 4.25. Rețea de turații pentru un sistem de reglare electromecanic la care domeniul de reglare al motorului $D_E = 2{,}83$.

În cazul în care domeniul de reglare al motorului electric se află în limitele $2{,}83 < D_E < 8$, cutia de viteze va putea conține în ansamblul cinematic fie numai mecanisme elementare avînd $k = 2$, fie un număr de mecanisme elementare la care $k = 2$ și un mecanism cu un număr $k = 3$ transmisii.

În alegerea variantei optime corespunzătoare unui anumit D_E se va urmări eliminarea suprapunerilor nejustificate de turație și obținerea unui sistem de reglaj simplu care să satisfacă integral domeniul de turații necesar la arborele principal al mașinii-unelte.

4.3.2. REGLAREA ELECTROMECANICĂ FOLOSIND MOTOARE ASINCRONE CU MAI MULTE TREPTE DE TURAȚII

În acționarea mașinilor-unelte, folosirea motoarelor asincrone cu reglarea turațiilor prin schimbarea numărului de perechi de poli este condiționată de posibilitățile de a asigura la motor trepte de turații egale ca număr și în raporturi echivalente cu ale rețelelor structurale rezultate din prescripțiile tehnologice.

Aceasta înseamnă că pentru rețele normale, treptele de reglare ale motorului vor trebui să formeze o serie geometrică cu rația

$$\varphi^E = \frac{n_{0k}}{n'_{0k}} = \frac{p'_k}{p_k}, \tag{4.6}$$

unde: n_{0k}, n'_{0k} reprezintă două turații succesive ale motorului electric;
p'_k și p_k — numărul de perechi de poli corespunzător acestora.

Prin urmare φ^E reprezintă raportul perechilor de poli folosiți la reglarea în ordine descrescătoare.

Ținînd seama de faptul că rația seriei de turații folosită la mașinile-unelte poate fi exprimată sub forma $\varphi = \sqrt[\frac{40}{x}]{10}$, rezultă egalitatea

$$\sqrt[E]{\frac{p_k}{p'_k}} = \sqrt[\frac{40}{x}]{10},$$

din care prin logaritmare se determină

$$E = \frac{40}{x} \cdot \frac{\log \frac{p_k}{p'_k}}{\log 10} = \frac{40}{x} \log \frac{p_k}{p'_k}. \tag{4.7}$$

Valoarea φ^E exprimînd raportul între turațiile succesive ale motorului, exponentul E va reprezenta în formula structurală indicele termenului care precizează numărul treptelor de reglare ale motorului.

În acest caz, luînd în considerare modul de formare a indicilor formulelor structurale, E va putea fi egal cu 1, cu unul din termenii formulei structurale, sau cu un produs de termeni ai acestei formule și deci valoarea lui trebuie să fie un număr întreg.

Rezultă, de asemenea, că în valoarea indicilor atașați diferiților termeni ai formulei structurale nu poate fi inclus termenul căruia acesta îi este atașat și prin urmare pentru un număr total Q de trepte de turații la arborele principal raportul

$$\frac{Q}{E} = k \tag{4.8}$$

va reprezenta un număr care va conține și termenul formulei structurale corespunzător treptelor de reglare ale motorului.

Întrucît numărul total al treptelor de turații ale mașinii este rezultatul unui produs de termeni ai formulei structurale care reprezintă numărul transmisiilor succesive din cutia de viteze, toate valorile conținute în formulă vor fi numere întregi.

Prin urmare și k trebuie să fie un număr întreg care să se descompună în factori primi, fiecare din termenii rezultați putînd reprezenta numărul treptelor de reglare la motor dacă se verifică condiția

$$\varphi^E = \frac{p_k}{p'_k}. \tag{4.9}$$

Prin urmare, în cazul rețelelor normale se poate scrie egalitatea

$$\frac{Q}{E} = k = k_E k_m, \tag{4.10}$$

în care: k_E reprezintă numărul de trepte de reglare ale motorului;
k_m — numărul treptelor de reglare mecanică.

Valoarea lui k_E va putea fi 2, 3 sau 4, în funcție de valoarea φ^E și de raportul k.

Pentru $\varphi^E = 2$, se poate folosi motorul cu 2, 3 sau 4 trepte de turații, iar pentru alte valori ale lui φ^E se pot obține diverse combinații ale numerelor de poli care în cazul rețelelor normale permit realizarea a cel mult două trepte de reglare la motor.

De exemplu, pentru o cutie de viteze cu 18 trepte avînd rația $\varphi = 1{,}25$ posibilitatea de realizare este indicată în figura 4.26.

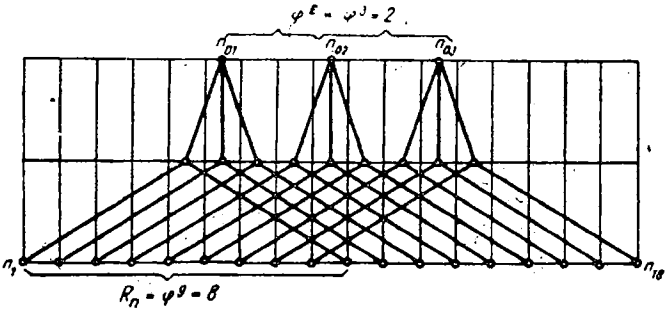


Fig. 4.26. Rețea de reglare electromecanică a turațiilor folosind motor electric cu trei perechi de poli distincte.

4.3.3. ELABORAREA REȚELELOR STRUCTURALE PENTRU SISTEME ELECTROMECANICE DE REGLARE CONTINUĂ A TURAȚIILOR

Reglarea turațiilor lanțurilor cinematice principale pentru realizarea mișcării de rotație la arborele de ieșire este necesar să se realizeze, în general, la o putere maximă constantă. Această condiție ridică unele probleme privind reglarea continuă deoarece motoarele electrice nu permit reglarea turației la putere constantă decît într-un domeniu de reglare relativ îngust. Astfel, motoarele obișnuite au acest domeniu cuprins între 3 și maximum 5, iar motoarele electrice de construcție specială (exemplu motoarele servomac, Franța) permit obținerea unui domeniu de reglare în jur de 9,3.

Deoarece domeniul total de reglare al lanțurilor cinematice principale este mult mai mare decît cele asigurate de motoarele electrice, în marea majoritate a cazurilor de ordinul sutelor, numai reglarea electrică a turației nu asigură reglarea continuă pe întregul domeniu impus de exploatarea mașinilor.

De aceea, aceste lanțuri conțin pe lîngă motorul cu turație reglabilă și o cutie de viteze care mărește domeniul de reglare al ansamblului cinematic, formînd un sistem electromecanic de reglare continuă a turației.

Întrucît un mecanism elementar (o grupă de transmisie mecanică între doi arbori) are un domeniu de reglare $D_{ME} \leqslant 8$, pentru a obține cel puțin o dată toate turațiile dintr-un anumit domeniu de reglare, este necesar ca turația maximă n_{max} obținută la arborele condus prin oricare din mecanismele elementare, la turația minimă a arborelui conducător, să fie mai mică sau cel puțin egală cu turația minimă n_{min}, obținută cu același mecanism însă la turația maximă a arborelui conducător.

În cazul cînd $n_{max} = n_{min}$, pentru toate mecanismele elementare care compun lanțul cinematic, nu există turații suprapuse și ca urmare domeniul maxim de reglare al lanțului nu poate depăși 64. Această valoare maximă se poate obține în condițiile precizate numai pentru anumite valori ale domeniului de reglare al motorului, și anume $D_M = 2{,}83$, pentru o formulă structurală a sistemului mecanic $Q = 2 \times 2$ și $D_M = 8$, dacă această formulă este $Q = 2$.

Pentru toate celelalte valori ale lui D_M, domeniul total al lanțului, fără realizarea de turații suprapuse, este mai mic decît 64.

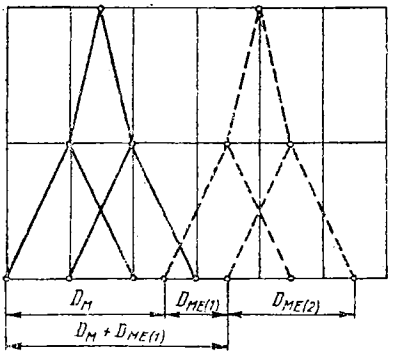


Fig. 4.27. Rețea structurală pentru reglare electromecanică continuă a turațiilor folosind motoare de curent continuu.

Deoarece marea majoritate a mașinilor-unelte au un domeniu de reglare mai mare de 64, aceste rețele structurale nu asigură în multe cazuri domeniile de reglare impuse de cerințele de exploatare ale mașinilor-unelte. Domeniul de reglare al lanțului cinematic poate lua orice valoare la același domeniu de reglare al motorului dacă este îndeplinită condiția $n_{max} < n_{min}$.

În această situație se obțin turații suprapuse, iar cu cît domeniul de reglare al lanțului cinematic este mai mare, cu atît (la același D_M) cutia de viteze este mai complicată.

De exemplu pentru rețeaua structurală din figura 4.27 rezultă următoarele domenii de reglare:

— pe arborele 2: $D_2 = D_M D_{ME(1)}$;

— pe arborele 3: $D_3 = D_2 D_{ME(2)} = D_M D_{ME(1)} D_{ME(2)}$. (4.11)

Pentru o cutie de viteze cu $k + 1$ arbori, adică avînd k mecanisme elementare, domeniul de reglare este

$$D_L = D_{k+1} = D_k D_{ME(k)} = D_M D_{ME(1)} \ldots D_{ME(k)}. \tag{4.12}$$

Valoarea maximă pentru D_L, la același D_M, se obține cînd $D_{ME(1)} = D_{ME(2)} = \ldots = D_{ME(k)} = 8$. Prin urmare din (4.12) rezultă

$$D_L = D_M 8^k. \tag{4.13}$$

Numărul minim de mecanisme elementare necesar pentru a se putea obține un domeniu de reglare D_L, utilizînd un motor avînd domeniul de reglare D_M, rezultă din (4.13) și este dat de raportul

$$k = \frac{\log \dfrac{D_L}{D_M}}{\log 8}. \tag{4.14}$$

Pentru ca să se poată utiliza un mecanism elementar cu $D_{ME} = 8$ și să se obțină o reglare continuă a turației arborelui condus, este necesar ca domeniul de reglare a turației la arborele conducător D_c să îndeplinească condițiile:

— pentru mecanismul elementar de două turații $D_c \geq 8$;

— pentru mecanismul elementar de trei turații $D_c \geq 2{,}83$.

Deoarece motoarele obișnuite au $D_M = 3 \ldots 5$ rezultă că pentru obținerea domeniului maxim de reglare se vor utiliza mecanisme de două turații și un mecanism de trei turații. Mecanismul de trei turații poate fi amplasat pe oricare din arborii transmisiei, poziția lor neinfluențînd asupra domeniului de reglare pe arborele final.

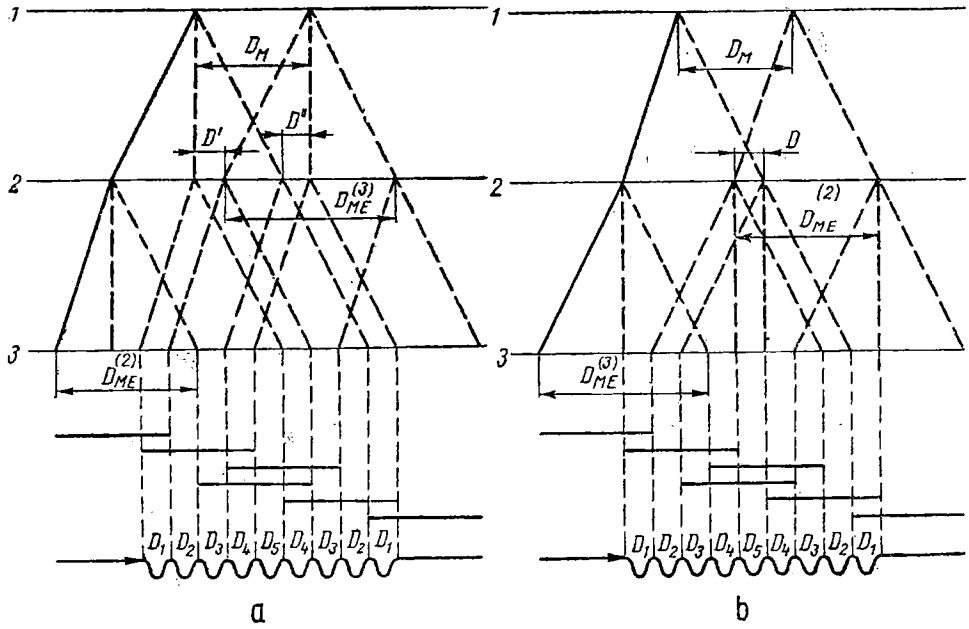


Fig. 4.28. Variante de rețele structurale pentru reglarea electromecanică a turațiilor folosind motoare de curent continuu:

a — cu utilizarea unui mecanism cu trei trepte de turații între primii arbori; *b* — cu utilizarea mecanismului cu trei trepte de reglare între ultimii doi arbori.

Astfel în cazul unei cutii de viteze avînd două mecanisme elementare, unul de două turații și altul de trei turații, avînd domeniul de reglare $D_{ME}^{(2)}$ respectiv $D_{ME}^{(3)}$, pot exista două variante: una cu mecanismul de trei turații între arborii *1—2* (fig. 4.28,*a*) și cealaltă avînd acest mecanism între arborii *2 — 3* (fig. 4.28, *b*). Se observă că în primul caz se obține o reglare continuă pe toți arborii, pe cînd în al doilea caz pe arborele *2* există un domeniu D pe care nu se obțin turații. În ambele cazuri rezultă însă o reglare continuă a turației pe arborele ultim al transmisiei, obținîndu-se turații duble pe domeniile: $D_1 = D_M/\sqrt{D_{ME}^{(3)}}$, $D_3 = D_{ME}^{(3)}/D_M$ și $D_5 = D_{ME}^{(2)}/D_M$, iar pe domeniile $D_4 = D_M/\sqrt{D_{ME}^{(3)}}$ turațiile se obțin pe trei căi (fig. 4.28).

În unele cazuri domeniul total de reglare al lanțului cinematic nu justifică utilizarea tuturor mecanismelor elementare la domeniul maxim de reglare. În asemenea situații uneori este posibil ca numărul treptelor de reglare mecanică să fie mai redus, utilizînd numai mecanisme elementare de două turații. În acest caz este necesar ca un mecanism elementar să aibă domeniul de reglare egal cu D_M pentru a se obține o reglare continuă a turației la ultimul arbore.

De exemplu, pentru rețeaua din figura 4.29 domeniul de reglare pe fiecare arbore în acest caz este:

— la arborele II: $D_{(II)} = D_M^2$;

— la arborele III: $D_{(III)} = D_M^2\, D_{ME}(2)$.

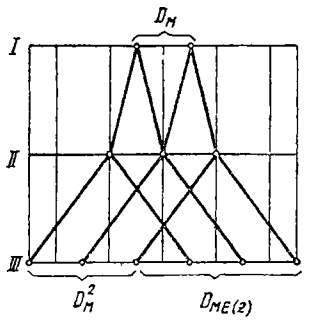


Fig. 4.29. Rețea structurală cu reglare electromecanică cu mecanisme cu două trepte de reglare mecanică între arborii cutiei de viteze. Variante de rețele structurale.

Pentru o cutie de viteze avînd $K + 1$ arbori, domeniul total de reglare pe arborele principal este dat de relația

$$D_L = D_M^2 \cdot D_{ME(2)} \cdot D_{ME(3)} \cdot \ldots D_{ME(k)}. \quad (4.15)$$

Valoarea maximă a lui D_L se obține pentru:

$$D_{ME(2)} = D_{ME(3)} = \ldots D_{ME(k)} = 8.$$

Din (4.15) rezultă

$$D_L = D_M^2 \cdot 8^{k-1}. \quad (4.16)$$

Numărul mecanismelor elementare se obține din (4.16) și este dat de relația

$$k = 1 + \frac{\log \frac{D_L}{D_M}}{\log 8}. \quad (4.17)$$

Ca urmare, pentru un domeniu de reglare al lanțului D_L dat și pentru un motor cu domeniul de reglare continuă a turației D_M, determinarea rețelei structurale optime se face în modul următor:

- Se află numărul de mecanisme elementare k_1 dat de relația (4.14).
- Se află numărul de mecanisme elementare k_2 dat de relația (4.17).
- Se rotunjește atît k_1 cît și k_2 la valorile întregi imediat superioare, notîndu-se cu k_1' și k_2'.
- Se compară k_1' cu k_2'. Dacă $k_1' = k_2'$ se alege varianta în care toate mecanismele elementare sînt de două turații. Dacă $k_1' < k_2'$ se alege rețeaua structurală la care un mecanism elementar este de trei turații.
- În funcție de varianta aleasă, se determină domeniul de reglare pentru mecanismele elementare folosind relația (4.12) sau (4.16), avînd în vedere ca domeniul de reglare pentru fiecare dintre mecanisme să fie mai mic sau egal cu opt. Pentru a doua variantă, cel puțin un mecanism trebuie să aibă domeniul de reglare egal cu cel al motorului.

4.3.4. REGLAREA ELECTROMECANICĂ ÎN TREPTE, ÎN CAZUL ACȚIONĂRII CU MOTOARE DE CURENT CONTINUU CU TURAȚIE REGLABILĂ

Pentru reglarea electromecanică în trepte a turațiilor, rețelele și formulele structurale se realizează similar cu cele ale cutiilor de viteze avînd reglare pur mecanică.

Ținînd seama de posibilitățile de reglare prin variația turației motoarelor de curent continuu cu excitație în derivație, reglarea electromecanică în trepte se recomandă să se facă în serie geometrică cu rația cît mai mică ($\varphi = 1{,}06$; $1{,}12$; $1{,}25$).

Se remarcă, de asemenea, că valorile domeniului de reglare al motoarelor determină o limitare a numărului de trepte de reglare la motorul de acționare. De exemplu, pentru o rație a seriei de turații la arborele principal se poate scrie $D_M = \varphi^{k_E - 1}$, de unde rezultă numărul de turații ale motorului

$$k_E = \frac{\log D_M}{\log \varphi} + 1. \quad (4.18)$$

Pe baza considerației privind posibilitățile de reglare a turației motorului rezultă că pentru arborele acționat este necesar să se aleagă acea variantă a formulei structurale (și prin urmare rețeaua), care are turațiile succesive în raport minim. Aceste formule sînt cele corespunzătoare rețelelor întrețesute, iar raportul minim al turațiilor succesive va fi egal cu rația seriei geometrice de turații. De exemplu, pentru o formulă structurală de forma $2 \times 3 \times 2 \times 2$ se pot obține 24 de variante din care în figura 4.30 sînt reprezentate numai două, și anume: $2_1 \times 3_2 \times 2_6 \times 2_{12} = 24$ și $2_{12} \times 3_4 \times 2_2 \times 2_1 = 24$.

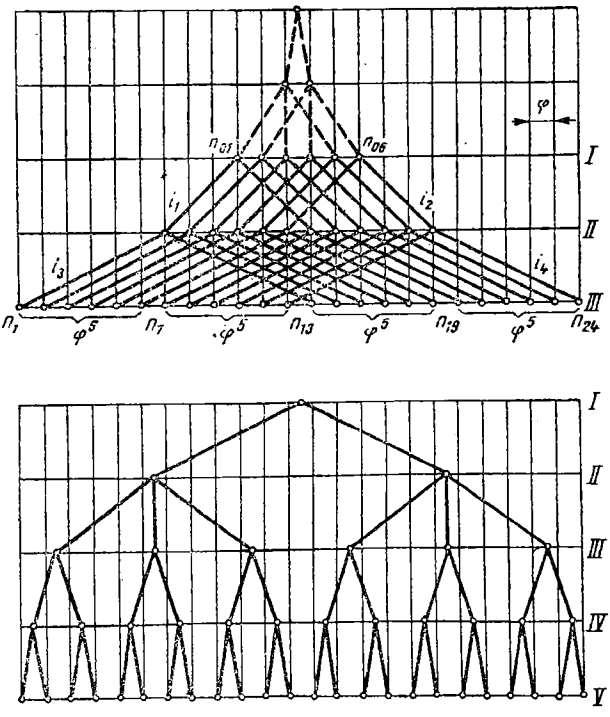


Fig. 4.30. Variante de rețele structurale pentru 24 de trepte de reglare a turațiilor:
a — rețea întrețesută; *b* — rețea neîntrețesută.

Analizînd cele două variante se constată că pentru un domeniu de reglare al motorului $D_M = \varphi^6 = 4$, se vor putea substitui, în cazul formei întrețesute, transmisiile dintre arborii *I-II-III*, pe cînd în celălalt caz, posibilitatea reglării turației motorului nu satisface caracteristicile de reglare ale rețelei.

Urmărind modul de realizare a turațiilor la arborele principal, se observă că acestea se grupează corespunzător numărului de trepte de reglare ale turațiilor motorului. Astfel:

$$n_1 = n_{01}i_1i_3; \quad n_7 = n_{01}i_2i_3; \quad n_{13} = n_{01}i_1i_4; \quad n_{19} = n_{01}i_2i_4;$$
$$n_2 = n_{02}i_1i_3; \quad n_8 = n_{02}i_2i_3; \quad n_{14} = n_{02}i_3i_4; \quad n_{20} = n_{02}i_2i_4;$$
$$n_3 = n_{03}i_1i_3; \quad n_9 = n_{03}i_2i_3; \quad n_{15} = n_{03}i_1i_4; \quad n_{21} = n_{03}i_2i_4;$$
$$n_4 = n_{04}i_1i_3; \quad n_{10} = n_{04}i_2i_3; \quad n_{16} = n_{04}i_1i_4; \quad n_{22} = n_{04}i_2i_4;$$
$$n_5 = n_{05}i_1i_3; \quad n_{11} = n_{05}i_2i_3; \quad n_{17} = n_{05}i_1i_4; \quad n_{23} = n_{05}i_2i_4;$$
$$n_6 = n_{06}i_1i_3; \quad n_{12} = n_{06}i_2i_3; \quad n_{18} = n_{06}i_1i_4; \quad n_{24} = n_{06}i_2i_4.$$

Prin urmare, primele șase turații rezultă din turațiile motorului, transmise arborelui principal prin aceeași grupare a transmisiei mecanice, caracterizată prin raporturile $i_1i_3 = i_{m1}$; următoarele șase diferă de primele prin faptul că transmisia mecanică s-a modificat fiind $i_2i_3 = i_{m2}$ și așa mai departe.

În consecință, se poate nota că modificarea turației prin reglaj mecanic se realizează după ce întreaga gamă de turații reglate electric a fost epuizată într-o reglare mecanică precedentă.

Se constată, de asemenea, că între ultima turație a unei grupe și prima turație a grupei următoare raportul este egal cu rația seriei de turații.

Ținînd seama de cele arătate, se poate scrie că prima turație realizată printr-o reglare mecanică oarecare va fi

$$n'_k = D_M^{k-1}\varphi^{k-1}n_1,$$

iar ultima (4.19)

$$n_k = D_M^k\varphi^{k-1}n_1.$$

Dacă turația n_k corespunde ultimei trepte de reglare la arborele principal, ultima expresie va avea forma $n_Q = D_M^k\varphi^{k-1}n_1$.

Împărțind această expresie cu n_1 și înmulțind cu φ se obține

$$\varphi\frac{n_Q}{n_1} = D_M^k\varphi^k, \tag{4.20}$$

unde $n_Q/n_1 = D_m$ este domeniul de reglare al mașinii-unelte.

Din expresia de mai sus, se poate determina numărul treptelor de reglare mecanică

$$k = \frac{\log D_m \cdot \varphi}{\log D_M \cdot \varphi}. \tag{4.21}$$

Valoarea obținută pentru numărul treptelor de reglare mecanică poate fi un număr prim (2 sau 3) sau un produs al acestora. Prin urmare, se poate scrie că formula structurală trebuie să fie în acest caz de forma

$$q = k_E ABC\ldots, \tag{4.22}$$

unde $ABC\ldots = k$.

Dacă se cunosc valorile numărului de trepte de reglare la arborele principal q și valoarea lui k_E, se pot determina treptele de reglare mecanică din raportul

$$k = \frac{q}{k_E}, \tag{4.23}$$

valorile lui k și k_E trebuind să fie numere întregi.

La stabilirea indicilor formulei structurale se va avea în vedere ca termenul k_E, care reprezintă turațiile motorului de acționare, să aibă întotdeauna indicele 1.

Această condiție rezultă din caracteristica reglării turației motorului electric și anume posibilitatea reglării în trepte oricît de mici.

Numărul maxim al treptelor de reglare mecanică pentru obținerea unor rețele fără suprapunerea turațiilor va fi și în acest caz limitat de domeniul de reglare al motorului D_M. Acest fapt apare evident dacă se ține seama de valorile pe care le vor avea indicii formulei structurale. Într-adevăr, termenul care exprimă treptele de reglare ale turațiilor motorului avînd indicele 1, înseamnă că valoarea imediat superioară a indicilor va fi egală cu k_E.

Ceilalți indici, obținîndu-se din produsul dintre indicii și termenii corespunzători, vor conține în mod necesar și valoarea lui k_E. În acest caz, pentru indicele cu valoare maximă se poate scrie condiția limită sub forma

$$\varphi k_E(N_x - 1)\, ABC \ldots \leqslant 8, \tag{4.24}$$

unde $N_x A, B, C$ sînt termenii formulei și pot avea valoarea 2 sau 3. Se constată că pentru $N_x = 2$, notînd $k_E = \dfrac{\log D_M}{\log \varphi} + 1$, rezultă

$$ABC = \frac{k}{2} = \frac{\log 8}{\log (D_M \cdot \varphi)}, \tag{4.25}$$

iar pentru $N_x = 3$

$$ABC = \frac{k}{3} = \frac{\log 8}{2 \log (D_M \cdot \varphi)}, \tag{4.26}$$

unde: k reprezintă numărul total al transmisiilor mecanice folosite de reglarea turațiilor;

A, B, C — transmisiile existente între diverși arbori.

Prin urmare, cu cît domeniul de reglare al motorului este mai mare, numărul transmisiilor mecanice care pot fi utilizate fără a avea suprapuneri de turații va fi mai mic. De exemplu, pentru un domeniu de reglare al motorului $D_M = 2...4$, valorile lui k pentru diverse valori ale rației vor fi date de diagrama din fig. 4.31.

Se remarcă faptul că gradul de simplificare al cutiilor de viteză crește considerabil la mărirea domeniului de reglare a motorului.

Se observă, de asemenea, că la un domeniu de reglare al motorului D_M numărul k al transmisiilor mecanice este limitat pentru fiecare valoare a rației φ. În consecință și domeniul de reglare al mașinii-unelte va fi limitat pentru un anumit domeniu de reglare al motorului, deoarece

$$D_M = \varphi^{q-1} = \varphi^{k_E k-1}, \tag{4.27}$$

unde $k_E = \dfrac{\log D_M}{\log \varphi} + 1$ reprezintă treptele realizate de motorul electric, iar k treptele de reglare ale cutiei de viteze, ambele avînd valori limitate de mărimea lui D_M.

Din relația de mai sus se constată că realizarea cutiilor de viteză pentru acționarea în trepte prin motoare cu turație reglabilă se poate face ușor, considerînd rația seriei de turații pentru sistemul de reglare mecanic (cutie de viteze) $\varphi_m = \varphi^{k_E}$.

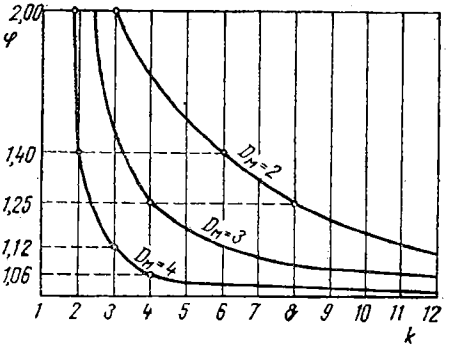


Fig. 4.31. Variația treptelor de reglare mecanică funcție de rația seriei de turații și de domeniul de reglare a turațiilor motorului de acționare.

În acest caz, numărul treptelor de reglare mecanică se determină cu relația

$$k = \frac{q \cdot \log \varphi}{\log \varphi_m} = \frac{q}{k_E}; \tag{4.28}$$

prin descompunerea valorilor lui k în factori primi se va determina formula structurală. Variantele formulelor structurale pentru cutia de viteze se vor putea stabili fără a mai ține seama de sistemul de acționare, dacă indicele minim se ia k_E.

De exemplu, pentru un sistem de reglare electromecanic avînd domeniul de reglare al motorului $D_M = 3{,}2$, numărul treptelor de reglare la arborele principal $q = 24$ și rația seriei de turații $\varphi = 1{,}25$ se va putea scrie $k_E = \frac{\log D_M}{\log \varphi} + 1 = 6$, de unde $k = \frac{q \cdot \log \varphi}{\log \varphi_m} = \frac{24}{6} = 4$.

Valoarea lui k se poate scrie prin descompunerea în factori primi sub forma $k = 2 \times 2$ obținîndu-se astfel structura cutiei de viteze, pentru care se pot scrie variantele:

$$I: k = 2k_E \times 2_{2kE}; \tag{4.29}$$

$$II: k = 2_{2kE} \times 2_{kE}.$$

Formulele structurale ale ansamblului sistemului de reglare electromecanic vor avea forma:

$$I: q = k_{E1} \times A_{kE} \times B_{2kE} = 6_1 \times 2_6 \times 2_{12} = 24; \tag{4.30}$$

$$II: q = k_{E1} \times A_{2kE} \times B_{kE} = 6_1 \times 2_{12} \times 2_6 = 24.$$

În aceste formule primul termen reprezintă treptele realizate de motor, k_E, și pentru acest sistem de reglare electromecanic acesta va avea totdeauna indicele 1.

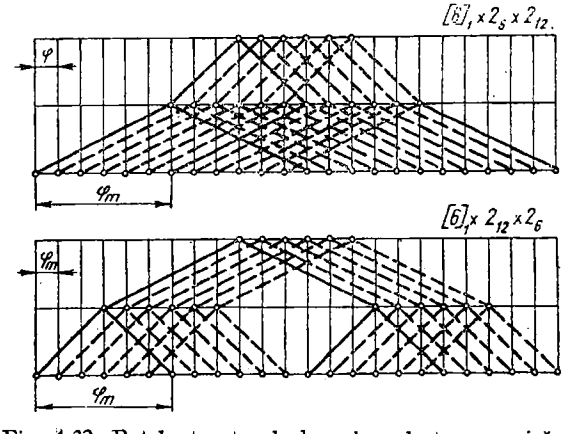


Fig. 4.32. Rețele structurale de reglare electromecanică cu turații suprapuse:
a — întrețesută; *b* — neîntrețesută.

Pentru cele două variante se vor obține rețelele structurale din figura 4.32.

În această figură s-a reprezentat prin linie plină structura cinematică a sistemului de reglare mecanic (cutiei de viteză) iar prin linie întreruptă reglarea rezultată prin variația turației motorului.

În unele cazuri domeniul de reglare al grupelor de transmisie mecanică depășește limita recomandată $D_M \leqslant 8$ și deci reglarea electromecanică a turațiilor va corespunde unor rețele cu turații suprapuse. Pentru aceste cazuri, numărul

treptelor de reglare mecanică se vor determina pe baza domeniului de reglare al turațiilor la arborele principal exprimat sub forma

$$D'_m = \varphi^{q-(x+1)} = \varphi^{q'-1}, \tag{4.31}$$

în care: q' este numărul turațiilor distincte;
q — numărul turațiilor posibile pentru formula dată (fără suprapunere de turații);
x — numărul turațiilor suprapuse;
φ — rația seriei de turații.

Din relația de mai sus prin logaritmare și înlocuind valoarea $q = k_E k$, se determină numărul transmisiilor mecanice

$$k = \frac{\log D'_m + (x+1)\log \varphi}{k_E \log \varphi}, \tag{4.32}$$

în care:

$$x = (a_{i\,max} - a_{i\,real})(A^* - 1) = q - q';$$

$$D'_m = \frac{D_m}{\varphi x} = \varphi(A^* a_{i\,real} - 1).$$

După determinarea valorilor k, D'_m și x se poate reprezenta rețeaua structurală fără dificultate, scriind formula structurală ca și în cazul rețelelor normale. La determinarea variantelor, însă, se va avea în vedere ca indicele maxim să fie

$$a_{real} = a_{i\,max} - \frac{x}{(A^* - 1)}, \tag{4.33}$$

unde: $a_{i\,max}$ reprezintă indicele maxim corespunzător rețelei normale;
x — numărul turațiilor suprapuse;
A^* — numărul transmisiilor reprezentate prin termenul cu indicele maxim, avînd valoarea 2 sau 3.

Un exemplu de utilizare a rețelelor suprapuse îl poate constitui o cutie de viteze cu 21 de trepte de turații, avînd rația seriei geometrice $\varphi = 1{,}25$.

În acest caz $D_{mu} = \varphi^{q-1} = 1{,}25^{20} = 100$.

Domeniul de reglare maxim admis pentru o grupă de transmisie mecanică va fi $a_{i\,real} \leqslant 8$,

de unde $a_{i\,real} \leqslant \dfrac{\log 8}{\log \varphi} = 9$.

Din punct de vedere cinematic cele 21 de turații pot fi realizate cu formulele

$$21 = 7 \times 3; \quad 21 = 6 \times 2 \times 2 - 3.$$

Pentru primul caz domeniul de reglare al motorului va fi

$$D_M = \varphi^{kz-1} = \varphi^6 = 4,$$

iar domeniul de reglare maxim al grupei de transmisii mecanice

$$D_m = \varphi^{(A-1)a_{i\,max}} = \varphi^{(3-1)7} = \varphi^{14}.$$

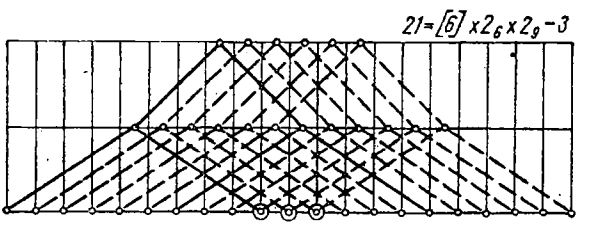


Fig. 4.33. Rețea structurală de reglare electromecanică avînd 21 de trepte de turații.

Deoarece $\varphi^{14} > 8$, această variantă nu este acceptabilă.
Pentru a doua variantă se obține:

$$D_M = \varphi^{k_E-1} = 1{,}25^5 = 3{,}2; \quad x = q - q' = 24 - 21 = 3;$$

$$k = \frac{\log D'_m + (x+1)\log \varphi}{k_E \log \varphi} = \varphi^6 = 4;$$

$$D_m = \varphi^{(A-1)}(a_{i\,max} - x) = 1{,}25^{12-3} = 8.$$

Se observă că această variantă satisface condițiile impuse cutiilor de viteze și prin urmare, rețeaua din figura 4.33, avînd formula structurală $21 = 6_1 \times 2_6 \times 2_9 - 3$, se va folosi în cazul problemei date.

Dacă, din motive de exploatare, se impune ca într-un anumit domeniu sau pe întregul domeniu de reglaj să se modifice rația seriei de turații, sistemul de reglare poate fi adaptat ușor noilor condiții. Pentru aceasta, este suficient să se modifice treptele de reglare ale turației motorului după legea de variație dorită și ansamblul sistemului de reglare electromecanic va respecta această lege. Pentru modificarea treptelor de reglare ale motorului se vor modifica corespunzător valorile rezistențelor din sistemul de reglaj avînd în vedere doar menținerea valorilor limită ale turațiilor.

5

REGIMURI TRANZITORII ÎN ACȚIONAREA ELECTRICĂ A MAȘINILOR-UNELTE

Acționarea mașinilor-unelte corespunzător regimului tehnologic de așchiere este determinată de funcționarea motoarelor electrice de acționare. Caracteristicile funcționale ale motoarelor electrice influențează direct posibilitățile mașinilor-unelte de a realiza prelucrarea pieselor prin așchiere în condiții de calitate și productivitate dorită. Din aceste puncte de vedere se impune a fi luate în considerare comportarea motoarelor de acționare în toate fazele procesului tehnologic în care sînt incluse perioade de regim permanent și regimuri tranzitorii.

Regimul permanent de funcționare are în vedere perioadele de lucru în care parametrii procesului de așchiere (turație, adîncime, avans etc.) rămîn neschimbați și în consecință ecuația de echilibru dinamic, $J_r \frac{d\omega}{dt} = M_m - M_r$, se reduce la $M_m = M_r$, deoarece accelerația $\frac{d\omega}{dt} = 0$. În cazul în care unul sau mai mulți parametri ai procesului de așchiere se modifică după o anumită lege, ca și la pornire, oprire și inversare de sens, ecuația de echilibru dinamic se realizează în condiția $\frac{d\omega}{dt} \neq 0$, și ca urmare sistemul se află în regim tranzitoriu. Pentru analiza condițiilor de acționare se va avea în vedere că în cazul regimului tranzitoriu, între momentul motor M_m și momentul rezistent M_r nu se mai respectă egalitatea și ca atare relația dintre ele poate fi exprimată sub forma $M_m \neq M_r$.

Stabilirea regimurilor tranzitorii impuse de necesitatea schimbării condițiilor de așchiere datorate variațiilor diametrului piesei de prelucrat sau celorlalți parametri care intervin în timpul prelucrării, ca și a perioadelor de pornire, frînare sau inversare de sens conținute în ansamblul procesului de execuție a pieselor pe mașina-unealtă, prezintă o importanță deosebită. Este necesar de reținut influența condițiilor de realizare a regimurilor tranzitorii asupra calității suprafețelor prelucrate, preciziei dimensionale și de formă, precum și asupra productivității mașinii-unelte. Aceste influențe

sînt mai pronunțate la mașinile de rabotat, la mașinile de copiat, la mașinile-unelte grele (mașini de frezat longitudinal), la centrele de prelucrare etc.

Analiza regimurilor tranzitorii permite să se stabilească corect puterea motoarelor electrice de acționare precum și sistemele de comandă, astfel încît să se reducă timpii neproductivi și energia consumată pe unitatea de produs.

5.1. ECUAȚIA DE MIȘCARE A ANSAMBLULUI MOTOR-LANȚ CINEMATIC

Considerînd un lanț cinematic al unei mașini-unelte acționate de un motor electric (fig. 5.1), ecuația de mișcare va putea fi scrisă funcție de momentul de inerție al maselor antrenate sub forma

$$M_m = M_r + J_r \frac{d\omega}{dt}, \tag{5.1}$$

în care J_r reprezintă momentul de inerție al maselor antrenate redus la arborele motorului de acționare.

Dacă se ține seama că se pot face substituțiile:

$$n = \frac{30\omega}{\pi}; \quad J_r = \frac{GD_r^2}{4g},$$

rezultă relația

$$M_m = \frac{GD_r^2}{375} \frac{dn}{dt} + M_r, \tag{5.2}$$

unde GD_r^2 reprezintă momentul de giratie al maselor în mișcare redus la arborele motor.

Momentul rezistent la arborele motor M_r poate fi determinat pe baza momentului de sarcină M_s, care trebuie realizat de organul de lucru. În acest scop se folosește relația

$$M_r = \frac{M_s}{\eta \cdot i},$$

în care: η este randamentul total al lanțului cinematic;
i — raportul total de transmitere între arborele motor și organul de lucru acționat.

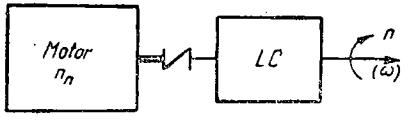


Fig. 5.1. Schema de acționare a unui lanț cinematic:
LC — lanțul cinematic acționat de motor; n_n — turația nominală a motorului; n — turația elementului de execuție.

Pentru determinarea momentului de inerție al maselor mecanismelor lanțului cinematic redus la arborele motor se ia în considerare echivalența energiilor cinematice sub forma

$$E_c = \frac{J_r\omega^2}{2} = \frac{\sum J_k \cdot \omega_k^2}{2}, \tag{5.3}$$

în care: E_c este energia cinetică totală a sistemului motor-ansamblu cinematic-organ de execuție;

J_r — momentul de inerție redus la arborele motor, echivalent maselor antrenate existente în ansamblul cinematic;

ω — viteza unghiulară a arborelui motor;

J_k — momentul de inerție al maselor aflate în mișcare pe un arbore k din sistemul cinematic;

ω_k — viteza unghiulară a arborelui.

Prin urmare, valoarea momentului de inerție redus al sistemului va fi

$$J_r = \frac{\sum J_k \cdot \omega_k^2}{\omega^2} = \sum_{k=1}^{k} J_k \cdot \frac{1}{i_k^2}, \tag{5.4}$$

unde: i_k reprezintă raporturile de transmitere între motor și arborii având momentele de inerție ale maselor J_k;

k — indicele de ordine al organului de execuție în sistemul cinematic considerat.

Echivalent momentului de inerție redus al sistemului se poate determina momentul de giratie redus folosind relația

$$GD_r^2 = \sum_{k=1}^{k} \frac{GD^2}{i^2}. \tag{5.5}$$

În cazul în care organul de execuție acționat prin sistemul cinematic are mișcare de translație (cazul mașinilor de rabotat, de frezat longitudinal, sau al mecanismelor de deplasare a meselor, traverselor etc.), momentul de inerție redus al acestora se calculează pe baza egalității

$$J_{rt} \frac{\omega^2}{2} = m \cdot \frac{v^2}{2},$$

în care: $m = \frac{G}{g}$ reprezintă masa organului cu mișcare de translație;

v — viteza de deplasare.

Egalitatea de mai sus permite să se determine momentul de giratie redus cu ajutorul formulei

$$GD_{rt}^2 = \frac{G}{g} \cdot \left(\frac{v}{n}\right)^2, \tag{5.6}$$

unde n este turația arborelui motor.

În consecință calculul momentului de giratie total al unui sistem cinematic de la o mașină-unealtă poate fi determinat cu ajutorul relației

$$GD_{rT}^2 = GD_0^2 + GD_r^2 + GD_{rt}^2,$$

în care: GD_{rT}^2 reprezintă momentul de giratie total redus al sistemului considerat;

GD_0^2 — momentul de giratie al ansamblului de pe arborele motor (rotorul motorului electric, arborele antrenat cu roata de curea sau roțile dințate montate pe acesta);

GD_r^2 — momentul de giratie redus al ansamblului mecanismelor cu mișcare de rotație;

GD_{rt}^2 — momentul de giratie redus, echivalent maselor cu mișcare de translație.

Substituind valoarea momentului de giraţie total în ecuaţia de mişcare a unui sistem cinematic se obţine relaţia de echilibru dinamic în forma cea mai generală

$$M_m = \frac{GD^2_{rT}}{375}\frac{dn}{dt} + M_r. \tag{5.7}$$

În condiţii normale de funcţionare, cuplul rezistent M_r se opune mişcării şi în consecinţă cuplului motor. La frînare electrică însă, cuplul motor schimbă sensul şi ca atare M_m şi M_r vor avea acelaşi sens.

Ecuaţia de mişcare luată în considerare este valabilă numai în cazul unor momente de giraţie constante în tot timpul mişcării. Dacă în sistemul cinematic sînt incluse mecanisme care au o mişcare variabilă (cazul maşinilor de mortezat, şepingul, mecanisme acţionate prin came, presele mecanice etc.), ecuaţia de mişcare va lua forma

$$M_m = \frac{GD^2_{rT}}{375}\frac{dn}{dt} + \frac{n^2}{7\,150}\frac{d}{d\alpha}(GD^2_{rT}) + M_r, \tag{5.8}$$

în care termenul al doilea al sumei reprezintă momentul determinat de variaţia momentului de giraţie în timpul funcţionării ansamblului cinematic.

Pentru calcule se impune a se determina în fiecare caz în parte legea de variaţie a mişcării pe baza căreia se poate determina legea de variaţie a momentului de giraţie redus şi influenţa acestuia asupra cuplului motor.

5.2. DURATA REGIMURILOR TRANZITORII LA PORNIREA ŞI REGLAREA SISTEMELOR CINEMATICE ALE MAŞINILOR-UNELTE

Luînd în considerare ecuaţia de mişcare a unui sistem cinematic se poate determina timpul de accelerare al ansamblului folosind relaţia

$$t_a = \int_0^n \frac{GD^2_{rT}}{375}\cdot\frac{dn}{M_m - M_r}. \tag{5.9}$$

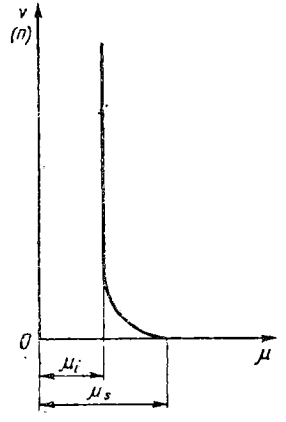


Fig. 5.2. Caracteristica de variaţie a coeficientului de frecare cu viteza de mişcare a organului mobil.

Pentru efectuarea integrării este necesar să fie cunoscute legile de variaţie ale momentului motor M_m, momentului rezistent M_r, şi a momentului de giraţie redus GD^2_{rT}.

Variaţia cuplului motor la pornire depinde de tipul motorului electric folosit la acţionare; momentul rezistent poate fi considerat constant, deoarece trecerea de la frecarea statică la frecarea dinamică se realizează într-o perioadă de timp neglijabilă (fig. 5.2). În cazul lanţurilor cinematice de lucru ale maşinilor-unelte, mecanismele componente au o mişcare determinată ca valoare şi prin urmare se poate admite ca în general şi momentul de giraţie GD^2_{rT} = const. În aceste condiţii pentru un moment

motor mediu $M_{m\,med}$, valoarea timpului de pornire poate fi calculată cu suficientă precizie folosind expresia

$$t_p = \frac{GD^2_{rT}}{375} \cdot \frac{n}{M_{m\,med} - M_r}. \tag{5.10}$$

În condițiile utilizării unui motor de curent continuu la care pornirea se face cu reostat, valoarea momentului mediu de acționare la pornire se determină cu relația

$$M_{m\,med} = \frac{M_{p\,max} + M_{p\,min}}{2},$$

unde: $M_{p\,max}$ este momentul maxim de pornire;
$M_{p\,min}$ — momentul minim la care are loc desprinderea treptelor reostatului de pornire.

Pentru motoarele asincrone cu rotorul bobinat, cuplul mediu de pornire are expresia

$$M_{m\,med} = \frac{M_{cr} + M_{p\,min}}{2}, \tag{5.11}$$

iar în cazul motoarelor în scurtcircuit

$$M_{m\,med} = 0{,}45\,(M_{cr} + M_p), \tag{5.12}$$

unde $M_p = Y_m \cdot M_n$ conform normelor (STAS 1764/63).

Dacă se impune determinarea exactă a regimului dinamic se ia în considerare faptul că în cazul motoarelor de curent continuu ca și al motoarelor asincrone cu rotorul bobinat, momentul motor are la pornire o variație liniară. Ca urmare, în aceste condiții accelerarea sistemului în domeniul turațiilor n_1 la n_2 corespunde de asemenea unei variații liniare a momentului dinamic de la M_{j1} la M_{j2} (fig. 5.3). Rezultă că în domeniul considerat, momentul dinamic poate fi exprimat prin relația

$$M_j = a - bn = \frac{GD^2_{rT}}{375} \cdot \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t},$$

unde: $a = M_{j2} + bn_1$;

$$b = \frac{M_{j1} - M_{j2}}{n_2 - n_1}.$$

În acest caz, din ecuațiile de echilibru dinamic, valoarea timpului corespunzător regimului tranzitoriu poate fi scrisă sub forma

$$t = \int_{n_1}^{n_2} \frac{GD^2_{rT}}{375} \frac{\mathrm{d}n}{a - bn} = \frac{GD^2_{rT}}{375} \cdot \frac{n_2 - n_1}{M_{j1} - M_{j2}} \cdot \ln \frac{M_{j1}}{M_{j2}}. \tag{5.13}$$

Determinarea duratei procesului tranzitoriu cu relația de mai sus se folosește frecvent în cazul utilizării reostatelor de pornire pentru diferite tipuri de motoare electrice.

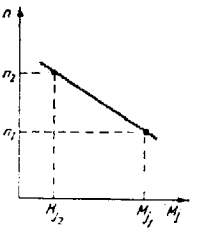


Fig. 5.3. Caracteristica dinamică cu variația liniară.

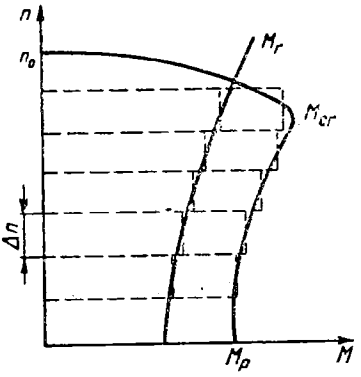


Fig. 5.4. Diagrama caracteristică a unui regim dinamic la acționarea cu motor asincron.

Regimul tranzitoriu al sistemelor cinematice poate fi determinat folosind și o metodă grafo-analitică. Această metodă are avantajul că permite calculul duratei regimului tranzitoriu și în condițiile în care cuplul motor și cuplul rezistent variază cu turația de acționare. În vederea utilizării metodei este necesar să fie cunoscută legea de variație atît a cuplului motor cît și a cuplului rezistent, funcție de turația sistemului, și să se reprezinte suprapus cele două caracteristici $M_m = f(n)$ și $M_r = f(n)$. Diagrama caracteristică (fig. 5.4) se împarte într-un număr de părți egale Δn, începînd de la valoarea $n = 0$ pînă la $n = n_n$. Ca urmare, corespunzător unui spațiu elementar durata regimului tranzitoriu poate fi exprimată sub forma

$$t_i = \frac{GD^2_{rT}}{375} \cdot \frac{\Delta n}{M_{mi} - M_{ri}}$$

și în consecință durata întregului proces de pornire va fi dat de relația

$$t_p = \frac{GD_{rT}}{375} \Delta n \left(\frac{1}{M_{m1} - M_{r1}} + \frac{1}{M_{m2} - M_{r2}} + \cdots \right), \qquad (5.14)$$

în care M_{m1}, $M_{m2} \ldots M_{r1}$, $M_{r2} \ldots$ reprezintă valorile medii ale cuplurilor motoare și ale cuplurilor rezistente specifice spațiilor elementare luate în considerare.

Pentru calculul mai precis al regimului tranzitoriu se admite ipoteza că în această perioadă cuplul rezistent este constant iar cuplul motor variază liniar. Această ipoteză este valabilă atît la motoarele de curent continuu cu excitație în derivație, cît și la motoarele asincrone luînd în considerare aliura rigidă a caracteristicii mecanice pe porțiunea stabilă.

Ca urmare în regim stabil $\frac{d\omega}{dt} = 0$ și se poate scrie egalitatea $M_m = M_r$ din care, pe baza caracteristicii mecanice, se obține expresia

$$M_r = \frac{n_0 - n_r}{R_a} \cdot k_{MT},$$

în care: n_0 reprezintă turația ideală de funcționare în gol;
n_r — turația de regim stabilizat;
R_a — rezistența indusului;
$k_{MT} = k_M \cdot k_E \cdot \Phi^2$ — constanta caracteristică motorului;
k_M — constanta caracteristică cuplului motorului;
k_E — constanta caracteristică forței contraelectromotoare;
Φ — fluxul de excitație a motorului.

Relația corespunzătoare cuplului motor la o turație oarecare a motorului se poate scrie de asemenea sub forma

$$M_m = \frac{n_0 - n}{R} \cdot k_{MT}$$

și prin înlocuirea celor două expresii în ecuația de mișcare (5.7) se obține, după efectuarea operațiilor corespunzătoare, egalitatea

$$\mathrm{d}t = \frac{GD_r}{375} \cdot \frac{R_a}{k_{MT}} \cdot \frac{\mathrm{d}n}{n + n_r}. \qquad (5.15)$$

Integrînd relația (5.15) se obține caracteristica de variație a turației motorului sub forma

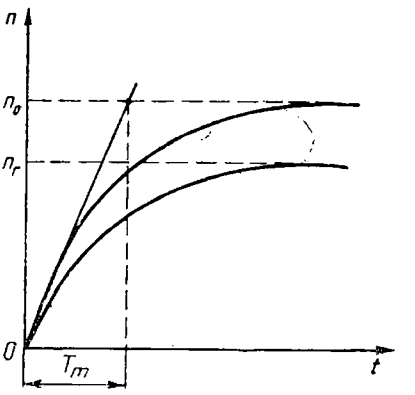


Fig. 5.5. Caracteristica de variație a turației într-un regim tranzitoriu la pornire.

$$n = n_r(1 - \mathrm{e}^{-t/T}), \qquad (5.16)$$

unde $T_m = \frac{GD_r^2}{375} \cdot \frac{R_a}{k_{MT}}$ reprezintă constanta electromecanică de timp a motorului electric.

Caracteristica de variație a turației este reprezentată în figura 5.5, corespunzător relației (5.16), în care s-a considerat o relație de proporționalitate între turație și cuplul motor.

Turația de regim nominal se obține la pornire după un timp $t_p = 4T$, dacă $n_r = n_n = 0{,}98\ n_0$ și la $t_p = 3T$ dacă $n_r = n_n = 0{,}95\ n_0$.

Se constată că teoretic constanta de timp T reprezintă durata necesară pentru accelerarea turației motorului din starea de repaus pînă la turația ideală de mers în gol (constanta de pornire).

La motoarele asincrone constanta electromagnetică de timp T poate fi determinată cu relația

$$T = \frac{GD_r^2}{375} \cdot \frac{n_0}{M_{cr}}, \qquad (5.17)$$

în care M_{cr} reprezintă cuplul critic al motorului.

Pentru aceste motoare se consideră că la pornire se ajunge la turația de regim stabilizat $n_r = 0{,}95\ n_0$, după un timp

$$t_p \simeq T\left(\frac{1}{4s_{cr}} + 1{,}5s_{cr}\right). \qquad (5.18)$$

5.3. REGIMURI TRANZITORII LA FRÎNARE

Procesul de frînare al sistemelor cinematice ale mașinilor-unelte se caracterizează prin aceea că momentul motor schimbă de sens sau devine egal cu zero ($M_m = 0$).

În cazul proceselor de frînare electrică ecuația de mișcare poate fi scrisă sub forma

$$-M = \frac{GD_{rT}^2}{375}\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} + M_r. \tag{5.19}$$

Prin integrare se obține durata procesului de frînare

$$t_f = \int_n^0 \frac{GD_{rT}^2}{375}\frac{\mathrm{d}n}{-M_f - M_r} = \frac{GD_{rT}^2}{375}\frac{n}{M_f + M_r}, \tag{5.20}$$

în care semnificația termenilor este aceeași ca și în cazul pornirii, cu deosebire că momentul M_f dat de motor determină frînarea sistemului.

Dacă procesul tranzitoriu la frînare se realizează în condiția $M = 0$, are loc oprirea sistemului sub acțiunea forțelor de frecare și ca urmare expresia timpului de oprire are forma

$$t_0 = \frac{GD_{rT}^2}{375}\cdot\frac{n}{M_r}. \tag{5.21}$$

În procesul de frînare se are în vedere că determinarea regimului tranzitoriu se face luînd în considerare aspectele menționate la pornire, îndeosebi cu privire la aplicarea metodelor analizate pentru calculul cuplului dat de motorul electric. Pentru stabilirea cuplului de frînare se va avea în vedere metoda de frînare utilizată și anume dacă frînarea se face prin contracurent, dinamică sau cu recuperare.

Metodele de calcul evidențiate la regimurile tranzitorii de la pornire rămîn valabile și în cazul frînării. În acest caz însă se va lua ca bază de calcul al cuplului de frînare caracteristica mecanică de frînare specifică fiecărui tip de motor în condițiile în care se prevede a se efectua frînarea (prin contracurent, dinamic sau cu recuperare).

5.4. REGIMURI TRANZITORII ÎN ACȚIONAREA PRESELOR

La prese, datorită particularităților funcționale se constată că ansamblul cinematic este într-un regim tranzitoriu permanent delimitat de gradul de neregularitate admis de volant. Duratele regimurilor tranzitorii din timpul lucrului pot fi determinate pe baza relațiilor impuse de condițiile funcționale prin valorile unghiului de lucru α_1, unghiului de mers în gol α_0 și viteza medie unghiulară ω_{med}, cu care se rotește manivela de antrenare a culisorului.

Problema regimului tranzitoriu la pornire și oprire are însă o importanță deosebită deoarece influențează direct asupra productivității mașinii. La pornirea preselor se are în vedere că prima fază are loc la accelerarea volantului pînă la turația de regim și numai după aceasta este admis să se cupleze mecanismul de lucru în vederea efectuării operațiilor de presare. Întrucît volantul are o masă mare, el va avea o pondere apreciabilă în valoarea momentului de girație redus, care poate fi exprimat prin relația

$$GD_{rT}^2 = GD_0^2 + \sum GD_r^2 + GD_{rv}^2, \tag{5.22}$$

în care: GD_0^2 reprezintă momentul de giratie al motorului;

$\sum GD_r^2$ — momentul de giratie redus al mecanismelor de transmitere existente între motor și volant;

GD_{rv}^2 — momentul de giratie al volantului redus la arborele motorului electric.

Calculul timpului de accelerare a volantului se face cu aceleași relații ca și la lanțurile cinematice ale mașinilor-unelte, dar timpul de pornire în acest caz este mult mai mare.

La oprirea volantului nu se folosește nici una din metodele de frînare electrică deoarece ar rezulta solicitări dinamice mari. În consecință se aplică oprirea sistemului fie sub acțiunea forțelor de frecare, fie cu ajutorul unor frîne mecanice care permit reducerea timpului de regim tranzitoriu la frînare. După caz se vor folosi pentru calculul timpului de frînare relațiile (5.21) sau (5.22).

6

DETERMINAREA PUTERII MOTOARELOR FOLOSITE ÎN ACȚIONAREA MAȘINILOR-UNELTE

6.1. INFLUENȚA PIERDERILOR ASUPRA ÎNCĂLZIRII MOTOARELOR

6.1.1. INFLUENȚA PIERDERILOR ÎN REGIM DE FUNCȚIONARE SUB SARCINĂ

Energia electrică consumată de la rețea de motoare se transformă în lucru mecanic util, iar o parte se pierde în înfășurările motorului datorită efectului Joule-Lenz, pierderilor în cupru, în fier (histerezis, curenți turbionari), prin ventilație și prin frecare în lagăre.

Ca urmare se poate scrie egalitatea

$$P = P_m + \Delta P,$$

în care: P reprezintă puterea absorbită de la rețea;
P_m — puterea la arborele motorului;
ΔP — pierderile în înfășurări.

Puterea absorbită de la rețea de un motor electric la anumite sarcini P_m poate fi scrisă și sub forma

$$\frac{P_m}{\eta} = P_m + \Delta P,$$

din care rezultă valoarea pierderilor

$$\Delta P = \frac{P_m}{\eta} - P_m = P_m \frac{1-\eta}{\eta}, \tag{6.1}$$

unde η este randamentul motorului electric la sarcina P_m. Influența randamentului și a sarcinii mecanice asupra pierderilor din motor permite determinarea acestora dacă este cunoscută valoarea randamentului corespunzător puterii mecanice la care funcționează motorul electric, la un moment dat.

În fiecare secundă energia electrică absorbită de la rețea și consumată în motor sub formă de pierderi produce o cantitate de căldură

$$Q = 0{,}24 \cdot \Delta P = 0{,}24\, P_m \frac{1-\eta}{\eta}, \tag{6.2}$$

care determină încălzirea lui și solicitarea termică a diferitelor părți componente (în special a înfășurărilor). Temperatura maximă la care este supus motorul nu este admis să depășească limita permisă de izolația înfășurărilor, aceasta

fiind materialul cu rezistență minimă la încălzire. Aceasta se realizează prin limitarea încălzirii motorului printr-o încărcare rațională, la care pierderile să nu depășească valorile indicate de constructor. Pierderile din motor provocate de diversele fenomene fizice au caracteristici deosebite, deci vor influența diferit încălzirea acestuia. Pierderile prin frecarea din lagăre și cu aerul (ventilația), ca și pierderile în fier, pot fi considerate constante, indiferent de sarcina la care lucrează motorul. În schimb, pierderile prin efect Joule-Lenz sînt proporționale cu pătratul curentului și au valori variabile funcție de sarcină.

În aceste condiții se poate scrie egalitatea

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v,$$

în care: ΔP_c reprezintă pierderile constante;
ΔP_v — pierderile variabile.

Pierderile variabile la o sarcină oarecare P_x pot fi exprimate funcție de curentul I_x din circuitul principal folosind relația

$$\Delta P_{vx} = bI_x^2$$

și ca urmare la puterea și curentul nominal (P_n respectiv I_n), acestea vor fi

$$\Delta P_{vn} = bI_n^2.$$

Din raportul pierderilor variabile la sarcina oarecare P_x și sarcina nominală P_n se obține expresia pierderilor variabile sub forma

$$\Delta P_{vx} = \left(\frac{I_x}{I_n}\right)^2 \Delta P_{vn}. \tag{6.3}$$

În funcție de intensitatea curentului, se constată că pierderile variabile într-un anumit motor cresc după o parabolă și sînt proporționale cu pierderile variabile la sarcina nominală.

Fiind cunoscut curentul nominal, determinarea pierderilor variabile la o sarcină oarecare se poate face pe baza pierderilor variabile la puterea nominală a motorului respectiv.

Relația dintre pierderile totale și randament permite să se scrie egalitatea

$$\Delta P = P_m \frac{1-\eta}{\eta} = \Delta P_v + \Delta P_c,$$

din care se obține expresia randamentului sub forma

$$\eta = \frac{P_m}{P_m + \Delta P_c + \Delta P_v} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_c}{P_m} + \left(\frac{I_x}{I_n}\right)^2 \frac{\Delta P_{vn}}{P_m}}.$$

Dacă se notează raportul $I_x/I_n = a$, expresia randamentului devine

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{vn}}{P_m}\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_{vn}} + a^2\right)}. \tag{6.4}$$

Se observă că aceasta admite un maxim pentru valoarea $a^2 = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{vn}}$, la care motorul prezintă un minim de pierderi. Făcînd înlocuirile corespunzătoare unei încărcări optime P_M se determină expresia randamentului maxim sub forma

$$\eta_M = \frac{1}{1 + 2\frac{\Delta P_c}{P_M}} \tag{6.5}$$

Egalînd această relaţie cu expresia randamentului în forma sa generală de mai sus se obţine

$$\frac{2\Delta P_c}{P_M} = \frac{\Delta P_c + \Delta P_v}{P_m}. \tag{6.6}$$

Această relaţie permite să se stabilească raportul dintre pierderile constante şi pierderile variabile pentru funcţionarea motorului la o încărcare corespunzătoare sarcinii $P_m = P_M$, deoarece egalitatea (6.6) devine $\Delta P_c + \Delta P_{vM} = 2\,\Delta P_c$ prin urmare pentru încărcarea optimă a motorului

$$\Delta P_c = \Delta P_{vM}.$$

În aceste condiţii se pot calcula pierderile constante şi pierderile variabile pentru încărcarea nominală ţinînd seama de raportul $I_x/I_n = a$. Pentru aceasta este necesar să se cunoască valoarea curentului de încărcarea optimă ($I_x = I_M$) şi randamentul maxim al motorului.

La motoarele cu caracteristica mecanică rigidă (motoare de curent continuu, cu excitaţie în derivaţie şi motoare asincrone pe porţiunea stabilă), curentul din circuitul principal poate fi considerat proporţional cu puterea, ceea ce permite să se noteze $a = I_x/I_n = P_x/P_n$, relaţiile de mai sus utilizîndu-se în consecinţă.

În acest scop raportul dintre încărcarea optimă şi puterea nominală a motorului se notează prin $a_0 = P_M/P_n$ şi se obţine

$$P_M = a_0 P_n.$$

Deci expresia randamentului optim al motorului va lua forma

$$\eta_M = \frac{a_0 P_n}{a_0 P_n + 2\Delta P_c}, \tag{6.7}$$

din care rezultă valoarea pierderilor constante

$$\Delta P_c = \frac{a_0 P_n}{2} \cdot \frac{1 - \eta_M}{\eta_M}. \tag{6.8}$$

Pierderile variabile se vor determina folosind raporturile

$$\frac{\Delta P_{vx}}{\Delta P_{vn}} = \left(\frac{I_x}{I_n}\right)^2 = \left(\frac{P_x}{P_n}\right)^2, \tag{6.9}$$

în care valorile ΔP_{vx}, I_x şi P_x se înlocuiesc prin ΔP_{vM}, I_M, respectiv P_M.

Se obține astfel raportul

$$\frac{\Delta P_{vM}}{\Delta P_{vn}} = \left(\frac{P_M}{P_n}\right)^2 = a_0^2,$$

în care se consideră

$$\Delta P_{vn} = \Delta P_c = \frac{a_0 P_n}{2} \cdot \frac{1 - \eta_M}{\eta_M}. \tag{6.10}$$

Se determină astfel pierderile variabile pentru funcționarea motorului la putere constantă P_M, sub forma

$$\Delta P_{vM} = \Delta P_{vn} a_0^2 = a_0^2 \Delta P_c = \frac{a_0^3 P_n}{2} \cdot \frac{1 - \eta_M}{\eta_M}.$$

În consecință pentru pierderile totale ale unui motor funcționînd la puterea nominală se va obține valoarea

$$\Delta P_M = \Delta P_c + a_0^2 \Delta P_{vn} = a_0 \frac{P_n}{2} \cdot \frac{1 - \eta_M}{\eta_M} \cdot (1 + a_0^2). \tag{6.11}$$

În unitatea de timp (secundă) aceste pierderi dezvoltă o cantitate de căldură

$$Q = 0{,}24 \cdot \Delta P_n = 0{,}24\, a_0 \frac{P_n}{2} \cdot \frac{1 - \eta_M}{\eta_M} (1 + a_0^2). \tag{6.12}$$

Efectuînd bilanțul termic rezultă că o parte din căldura degajată datorită pierderilor determină încălzirea motorului, iar o altă parte este cedată mediului înconjurător. Acest proces poate fi exprimat cu ajutorul relației

$$C \frac{d\theta}{dt} = Q - A\theta, \tag{6.13}$$

în care: $\frac{d\theta}{dt}$ reprezintă creșterea încălzirii motorului în unitatea de timp, în K/s;

C — capacitatea calorică a motorului considerat corp omogen, în cal/K;

A — factorul de cedare către mediul înconjurător în unitatea de timp în cal/sK;

Q — cantitatea de căldură degajată de motor, în cal/s;

θ — încălzirea motorului în raport cu temperatura mediului înconjurător, în K.

Deoarece capacitatea calorică C și factorul de cedare A sînt valori constante, încălzirea motorului poate fi considerată încheiată cînd $d\theta/dt = 0$. Deoarece în acest caz $Q = A\theta_r$, înseamnă că întreaga cantitate de căldură produsă în motor sub efectul pierderilor este cedată mediului înconjurător;

rezultă că încălzirea motorului ajunge la o valoare de regim θ_r care poate fi exprimată sub forma

$$\theta_r = \frac{Q}{A} = 0{,}24\, a_0 \cdot \frac{P_n}{2A} \cdot \frac{1 - \eta_M}{\eta_M} \cdot (1 + a_0^2). \tag{6.14}$$

Încălzirea de regim este influențată de factorii care determină pierderile și va fi cu atît mai mare cu cît acestea cresc. În consecință, funcție de rezistența termică a izolației motorului, pierderile trebuie limitate pentru a nu depăși în exploatare încălzirea admisibilă. Pentru aceasta, se vor lua în considerare pierderile corespunzătoare sarcinii de durată, care reprezintă chiar puterea lui nominală P_n, deoarece aceasta este valoarea maximă a sarcinii la care motorul poate funcționa un timp nelimitat, fără a depăși încălzirea admisă. Pentru celelalte puteri utilizate în funcționarea de durată a motorului, se impune condiția $P \leqslant P_n$, valabilă și pentru puterea optimă P_M.

Avînd în vedere utilizarea rațională a motorului, este indicat ca randamentul maxim să se obțină la valoarea sarcinii pentru care a fost executat motorul și care va fi cel mai frecvent folosită. Aceasta înseamnă că puterea optimă trebuie să fie cît mai apropiată de puterea nominală și dacă este posibil să se realizeze egalitatea $P_M = P_n$ (pentru motoare asincrone $P_M = 0{,}75\ P_n$, iar pentru motoare de curent continuu $P_M = P_n$).

Prin urmare se pot face înlocuirile $a_0 = \frac{P_M}{P_n} = 1$ și $\eta_M = \eta_n$, obținîndu-se pentru pierderile corespunzătoare sarcinii nominale încălzirea de regim

$$Q_n = 0{,}24 \frac{P_n}{A} \cdot \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}, \tag{6.15}$$

în care $P_n = \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_n$ reprezintă pierderile la sarcina nominală.

Scriind expresia încălzirii de regim pentru o sarcină oarecare se obține

$$\theta_r = a_n \frac{P_x}{2A} \cdot \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} (1 + a_n^2), \tag{6.16}$$

în care: $a_n = P_x/P_n$;

P_n reprezintă puterea considerată.

Întrucît pentru puteri mai mari decît puterea nominală pierderile cresc foarte mult, încălzirea de regim depășește încălzirea nominală admisă. În consecință, la funcționare în condiții de suprasarcină, duratele acestora trebuie limitate în fiecare caz în parte, în așa fel încît să nu se depășească încălzirea nominală admisă θ_n.

6.1.2. INFLUENȚA PIERDERILOR ÎN REGIM TRANZITORIU

În perioadele regimurilor tranzitorii specifice în acționarea mașinilor-unelte (porniri, frînări, inversări ale sensului de rotație), la fel ca în regimul de funcționare sub sarcină, o parte din puterea absorbită de motor de la rețea se transformă în căldură datorită pierderilor.

Determinarea acestor pierderi în cazul motoarelor de curent continuu are în vedere relația

$$P_T = P - P_r, \tag{6.17}$$

în care: P reprezintă puterea absorbită de motor de la rețea;

P_r — puterea obținută la arborele motorului în timpul procesului tranzitoriu.

Întrucît la turația teoretică de mers în gol $U = E = K_E \cdot \Phi \cdot n_0$, iar expresiile curentului și a raportului K_E/K_M sînt:

$$I = \frac{M}{K_M \cdot \Phi}; \quad \frac{K_E}{K_M} = \frac{\pi \cdot g}{30},$$

expresia puterii absorbite de motor va avea forma

$$P = UI = \frac{K_E n_0 M}{K_M} = \frac{\pi \cdot g n_0}{30} M. \tag{6.18}$$

Pe baza ecuației de echilibru dinamic, în relația (6.18) cuplul motor poate fi înlocuit prin $M = M_r + J\,(\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t)$, obținîndu-se relația

$$P = \frac{\pi \cdot g n_0}{30}\left(M_r + J \cdot \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\right), \tag{6.19}$$

în care: M_r reprezintă cuplul rezistent;

$J\,\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t$ — cuplul dinamic.

Rezultă că energia absorbită de motor de la rețea în perioada procesului tranzitoriu va fi

$$A_{T0} = \int_{t_1}^{t_2} P\mathrm{d}t = \frac{\pi \cdot g n_0}{30}\left(M_r \int_{t_1}^{t_2} \mathrm{d}t + J\int_{\omega_1}^{\omega_2} \mathrm{d}\omega\right) =$$

$$= \frac{\pi \cdot g n_0}{30} \cdot [M_r(t_2 - t_1) + J(\omega_2 - \omega_1)].$$

Condițiile la pornire sînt: $t_1 = 0$; $t_2 = t_p$; $\omega_1 = 0$; $\omega_2 = \omega_0$ și prin urmare energia consumată de la rețea va lua forma

$$A_{T0} = \frac{\pi \cdot g n_0}{30}(M_r t_p + J\omega_0) = \frac{\pi \cdot g n_0}{30}\left(M_r t_p + J\frac{\pi n_0}{30}\right)[\mathrm{W.s}] \tag{6.20}$$

Înlocuind momentul de inerție prin momentul de girație, pe baza relației $J = \frac{GD^2}{4g}$ și făcînd transformarea în kWs, se obține

$$A_{T0} = \frac{M_r n_0 t_p}{1\,000} + \frac{GD^2 n_0^2}{365\,000}[\mathrm{kWs}]. \tag{6.21}$$

Energia mecanică dezvoltată de motor este determinată de valoarea $E = U - RI = K_E \Phi n$, unde, substituind fluxul prin expresia $\Phi = \frac{M}{K_M I}$, se obține puterea mecanică utilă sub forma

$$EI = UI - RI^2 = \frac{K_E}{K_M} \cdot M_n = \frac{\pi g}{30} M \cdot n = gM\omega, \tag{6.22}$$

în care: $UI = P$ reprezintă puterea absorbită de la rețea;

$EI = \frac{g}{30} Mn$, puterea mecanică utilă P_T.

Rezultă că la pornire pierderile vor fi

$$RI^2 = UI - EI = P - P_T \tag{6.23}$$

și în consecință energia echivalentă acestor pierderi va avea expresia

$$A_p = RI^2 = A_{T0} - A_{Tm}. \tag{6.24}$$

Energia mecanică utilă se poate determina din integrala

$$A_{Tm} = \int_0^{t_p} P_T \mathrm{d}t = g \int_0^{t_p} \omega_n M_r \, \mathrm{d}t + Jg \int_0^{\omega_n} \omega \, \mathrm{d}\omega = \frac{g \cdot \omega_n t_p}{2} M_r + J \frac{\omega_n^2}{2} g$$

pentru care, înlocuind $J = \frac{GD^2}{4g}$ și $\omega = \frac{\pi \cdot n_n}{30}$ se obține, prin transformarea în kWs,

$$A_{Tm} = \frac{M_r n_n t_p}{2\,000} + \frac{GD^2 n^2}{730\,000} \text{ [kWs]}. \tag{6.25}$$

Înlocuind valorile A_{T0} și A_{Tm} în egalitatea (6.24) prin expresiile corespunzătoare lor, se obține energia echivalentă pierderilor de pornire

$$A_p = \frac{GD^2}{365\,000} \left(n_0^2 - \frac{n_n^2}{2} \right) + \frac{M_r}{1\,000} t_p \left(n_0 - \frac{n_n}{2} \right). \tag{6.26}$$

În majoritatea cazurilor, pentru simplificare se consideră $n_0 = n_n$ și ca urmare expresia pierderilor de energie se admite că este

$$A_p = \frac{G^2 D\, n_n^2}{730\,000} + M_r \frac{n_0 t_p}{2\,000} \text{ [kWs]}. \tag{6.27}$$

La acționarea lanțurilor cinematice principale, valoarea cuplului rezistent M_r este mică deoarece pornirea mașinilor se face în gol. În consecință, acesta poate fi neglijat cu excepția mașinilor-unelte grele și a acționării lanțurilor cinematice de avans prin motoare proprii.

Pierderile din circuitul de excitație al motoarelor de curent continuu se neglijează, întrucît acestea au în ansamblu o valoare foarte mică, care de altfel este constantă.

La regimul tranzitoriu al motoarelor asincrone trebuie să se țină seama de pierderile din rotor și din stator, deoarece curentul de alimentare este mare în ambele circuite.

În aceste condiții puterea absorbită de la rețea satisface egalitatea

$$P = P_m + \Delta P_r + \Delta P_s, \tag{6.28}$$

în care: P_m reprezintă puterea la arborele motorului;
ΔP_r — pierderile de putere în rotor;
ΔP_s — pierderile de putere în stator.

Exprimînd puterea la arborele motorului funcție de alunecare și de cuplu prin relația $P_m = gM\omega_0(1 - s)$, în care $gM\omega_0 = P_e$ reprezintă puterea electromagnetică transmisă rotorului, rezultă pierderile din rotor sub forma

$$P_r = P_e - P_m = gM\omega_0 s = gM(\omega_0 - \omega).$$

Cuplul M din expresia pierderilor poate fi obținut din ecuația de mișcare $M = M_r + J\frac{d\omega}{dt}$. Efectuînd înlocuirile corespunzătoare și integrînd se obține expresia pierderilor de energie din rotor sub forma

$$A_p = \frac{GD^2n^2}{730\,000} + M_r\frac{n_n t_p}{2\,000}, \tag{6.29}$$

identică cu aceea obținută pentru motoarele de curent continuu cu excitație separată sau în derivație.

Pierderile din stator și cele din rotor se consideră că sînt în același raport ca și rezistențele înfășurărilor corespunzătoare lor, deoarece intensitatea curentului din stator este egală cu a curentului rotoric raportat la stator (dacă se neglijează curentul de magnetizare). Ca urmare se poate scrie $\Delta P_s/\Delta P_r = R_1/R_2 = \lambda$ (R_1 fiind rezistența statorului, iar R_2 rezistența rotorică raportată la stator) și se obține astfel egalitatea $\Delta P_s = \lambda\Delta P_r$.

În consecință, pierderile totale de energie la pornirea sub sarcină a motoarelor asincrone vor fi

$$P_r = \left(\frac{GD^2n_n^2}{730\,000} + \frac{M_r n_n t_p}{2\,000}\right)(1 + \lambda). \tag{6.30}$$

Determinarea pierderilor de energie la frînarea și la inversarea sensului de mișcare prin contracurent se face în condiții identice, dar se vor lua în considerare mărimile caracteristice acestor regimuri tranzitorii.

Relația care se obține pentru pierderea de energie la frînare este

$$A_f = 3\left(\frac{GD^2n^2}{730\,000} - M_r\frac{nt_f}{2\,000}\right)[\text{kWs}], \tag{6.31}$$

iar pentru inversare

$$A_i = \frac{GD^2n^2}{182\,500}[\text{kWs}]. \tag{6.32}$$

Expresiile pierderilor de energie în regim tranzitoriu evidențiază faptul că la pornirea în gol aceste pierderi nu depind de rezistențele înfășurărilor

motorului și de valorile instantanee ale cuplului motor ci îndeosebi de momentele de inerție ale maselor antrenate și turația de regim stabil. La pornirea în sarcină se iau în considerare influența cuplurilor rezistente și durata regimului tranzitoriu. Dacă frecvența pornirilor, opririlor și inversărilor de sens este redusă, efectul pierderilor de energie în regim tranzitoriu este neglijabil. La mașinile-unelte la care, la intervale scurte de timp, ciclul de lucru impune însă motorului de acționare funcționarea cu diferite regimuri tranzitorii, pierderile de energie corespunzătoare lor influențează apreciabil încălzirea motorului, fapt pentru care aceste pierderi vor trebui luate în considerare la stabilirea caracteristicilor motorului.

6.2. CARACTERISTICI DE ÎNCĂLZIRE A MOTOARELOR ELECTRICE

Transformarea pierderilor de energie electrică în căldură corespunzătoare perioadelor de funcționare ale motoarelor este un proces continuu, cantitatea de căldură dezvoltată fiind funcție de valoarea pierderilor din fiecare moment al funcționării. Căldura dezvoltată în motor în unitatea de timp va determina un proces termic care poate fi exprimat prin relația de bilanț

$$Q = 0{,}24\Delta P = Q_m + Q_e,$$

în care: Q reprezintă căldura produsă în motor;
Q_m — căldura absorbită de motor;
Q_e — căldura cedată mediului.

Determinarea căldurii absorbite de motor se face luînd în considerare următoarele aspecte:

— părțile componente ale motorului sînt executate din materiale diferite avînd proprietăți termice diverse;

— transferul căldurii între părțile componente este diferențiat în funcție de forma și de poziția pe care acestea o au în raport cu sursa de căldură;

— contactul părților componente ale motorului cu mediul nu este același, iar cedarea căldurii prin conductibilitate, convecție și radiație, se realizează în condiții diferite.

Întrucît nu există posibilitatea să se calculeze riguros distribuția temperaturii în masa motorului, iar măsurarea acesteia este limitată și greu de executat, pentru calculul analitic se fac unele aproximări, și anume:

— motorul se consideră un corp omogen care se încălzește uniform în toată masa lui;

— schimbul de căldură cu exteriorul este același în toate zonele de contact cu mediul înconjurător, și anume proporțional cu diferența de temperatură dintre motor și aer;

— întreaga masă a motorului are o conductivitate termică infinită.

În aceste condiții se poate nota cu C cantitatea de căldură necesară pentru ridicarea temperaturii motorului cu 1 K și cu A cantitatea de căldură cedată mediului în unitatea de timp (secundă), pentru o diferență de temperatură

de 1 K. Ca urmare, la o diferență de temperatură θ între motor și mediu se poate scrie ecuația procesului termic din motor sub forma

$$Q = C\frac{d\theta}{dt} + A\theta, \tag{6.33}$$

în care: $d\theta/dt$ reprezintă creșterea temperaturii motorului într-un interval de timp infinit mic;
θ — încălzirea motorului.

Prin integrare se obține soluția ecuației sub forma

$$t = \int \frac{Cd\theta}{Q - A\theta} + K = -\frac{C}{A} \cdot \ln\frac{Q - A\theta}{Q - A\theta_0} + K,$$

din care se determină expresia încălzirii motorului

$$\theta = \frac{Q}{A}\left(1 - e^{-\frac{t}{C/A}}\right) + \theta_{0e}^{-\frac{t}{C/A}}, \tag{6.34}$$

unde: θ_0 reprezintă temperatura inițială corespunzătoare timpului $t = 0$;

$\frac{C}{A} = T$ — constantă de timp a încălzirii.

Folosind notația $T = \frac{C}{A}$, relația încălzirii motorului va lua forma

$$\theta = \frac{Q}{A}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \theta_{0e}^{-\frac{t}{T}} \tag{6.35}$$

Observăm că pentru $\theta_0 = 0$, se obține încălzirea raportată la temperatura mediului înconjurător.

Determinarea limitei maxime a încălzirii se face considerînd timpul de funcționare $t = 4T$, pentru care se obține valoarea $\theta_r \cong Q/A$, reprezentînd încălzirea de regim a motorului. Această valoare corespunde cu aceea obținută din relația (6.13) pentru $d\theta/dt = 0$.

Întrucît valoarea lui A este constantă, încălzirea de regim depinde numai de cantitatea de căldură Q dezvoltată de motor în timpul funcționării, fiind direct proporțională cu aceasta. Dar cantitatea de căldură produsă de motor este direct proporțională cu pierderile (relația 6.2), care la rîndul lor sînt proporționale cu puterea dezvoltată la arbore, de unde rezultă că încălzirea de regim crește cu puterea mecanică utilă. Reprezentînd variația încălzirii motorului la funcționarea cu diferite sarcini, se obțin curbele din figura 6.1, pentru care s-a considerat aceeași temperatură inițială θ_0. Analizînd caracteristicile de încălzire se constată că la diferite sarcini $P_1, P_2, P_3, \ldots, P_k$, încălzirea este cu atît mai intensă și ajunge în regim stabil la valori cu atît mai ridicate, cu cît sarcina de lucru este mai mare.

Deoarece materialele folosite în execuție și în special izolațiile au o rezistență limitată la încălzire, în alegerea corectă a motoarelor electrice este necesar să se acorde o deosebită atenție caracteristicilor de încălzire cores-

punzătoare funcționării la diferite sarcini. Rezistența izolației motorului corespunde în general unei temperaturi de 95°C și prin urmare, considerînd temperatura mediului de 35°C, rezultă o încălzire nominală admisibilă $\theta_n = 60°C$. Depășirea încălzirii normale determină distrugerea izolației și ca atare arderea motorului. Din figura 6.1 se constată însă că, indiferent de valoarea puterii luate în considerare, toate curbele de încălzire au o anumită porțiune situată sub limita încălzirii admisibile θ_n. Înseamnă că motorul poate funcționa un anumit timp la puteri mai mari decît puterea lui nominală, cu condiția ca durata suprasarcinii să nu ducă la depășirea temperaturii admise de izolație. Timpul de funcționare la suprasarcină depinde de încălzirea motorului în momentul în care se produce această încărcare, precum și de valoarea suprasarcinii. Durata pentru diversele sarcini dacă încălzirea inițială a motorului este $\theta = \theta_0$ (temperatura mediului) se stabilește pe abscisă, luînd în considerare punctul de intersecție al curbei de încălzire cu dreapta $\theta_n = \text{const}$.

Din figura 6.2 se observă că durata admisă de funcționare în regim de suprasarcină, reprezentînd timpul în care motorul ajunge de la încălzirea inițială la încălzirea nominală admisă θ_n, este cu atît mai redus cu cît suprasarcina apare la o încălzire mai apropiată de limita θ_n. Pentru o încălzire $\theta = \theta_n$, funcționarea motorului supraîncărcat nu mai poate fi admisă.

Rezultă că din punct de vedere termic motorul poate funcționa la sarcini mai mici decît puterea nominală și în acest caz încălzirea de regim $\theta_r \leqslant \theta_n$; la sarcina nominală, pentru care în regim de durată $\theta_r = \theta_n$; la suprasarcini cu durate limitate de condiția ca încălzirea $\theta \leqslant \theta_n$.

Expresia încălzirii (6.35) și figurile 6.1 și 6.2 evidențiază că procesul termic din motor are un caracter asimptotic la valori diferite $\theta_r = Q/A$. Timpul după care motorul ajunge la încălzirea de regim θ_r reprezintă constanta de timp a încălzirii $T = C/A$, care poate fi determinată grafic ducînd tangenta în origine la oricare din curbele de încălzire. Valoarea constantei T va fi egală cu mărimea segmentului determinat în fiecare caz de tangenta la curba de încălzire, măsurat la scara corespunzătoare axei timpului.

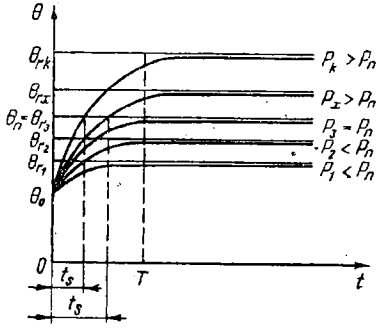


Fig. 6.1. Caracteristici de încălzire a motoarelor electrice.

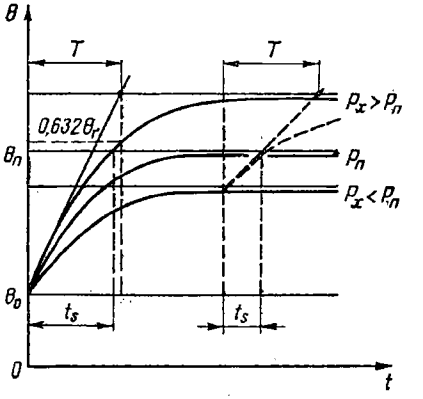


Fig. 6.2. Caracteristici de funcționare în regim de suprasarcină a motoarelor electrice.

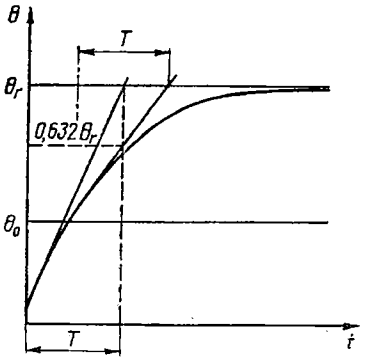


Fig. 6.3. Graficul de determinare a constantei de timp la încălzirea motoarelor electrice.

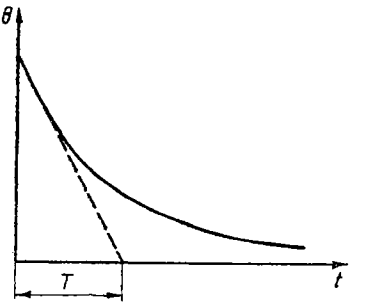


Fig. 6.4. Caracteristica de răcire la oprirea motoarelor electrice.

Dacă în relația (6.35) se face substituția $t = 4\,T$, se obține pentru încălzire o valoare $\theta \cong \theta_r$, ceea ce înseamnă că procesul tranzitoriu al încălzirii poate fi considerat încheiat după acest interval de timp.

Determinarea constantei de timp a încălzirii pe o altă cale se poate face știind că pentru $t = T$ se obține din expresia (6.31) o valoare $\theta = 0{,}632\ \theta_r$. Ca urmare, orizontala prin acest punct va fi intersectată de curba de încălzire la o distanță corespunzătoare unui segment $t = T$, măsurat pe abscisă (fig. 6.3).

Cînd motorul are încălzirea θ și sarcina scade, cantitatea de căldură degajată în unitatea de timp în motor va fi mai mică și în consecință se va produce răcirea lui (corespunzător reducerii sarcinii). Dacă motorul se oprește ($Q = 0$) se obține caracteristica de răcire

$$\theta = \theta_0 e^{-t/T}, \tag{6.36}$$

corespunzătoare reprezentării din figura 6.4.

Deși în calculele analitice s-au făcut o serie de aproximări și deci curbele obținute pe cale experimentală diferă de cele teoretice în special la răcire, ele însă permit să se stabilească caracterul încălzirii și sînt satisfăcătoare pentru alegerea corectă a motoarelor.

Astfel, dacă motorul va funcționa întotdeauna un timp îndelungat la aceeași valoare a sarcinii, încălzirea și răcirea lui se vor produce după aceleași caracteristici. Acest mod de funcționare este denumit *regim de durată la sarcină constantă* și din punctul de vedere al încălzirii îi corespunde caracteristica din figura 6.5, *a*. Deoarece puterea la arborele motor $P_m = \text{const}$, motorul va funcționa după o curbă de încălzire corespunzătoare relației (6.35), pentru o valoare $Q = \text{const}$. Regimul va fi considerat de durată, dacă timpul de funcționare la puterea $P_m = \text{const}$ îndeplinește condiția $t = 4\,T$, corespunzător duratei necesare pentru realizarea încălzirii de regim. Oricare ar fi timpul de funcționare, dacă puterea motorului nu se modifică, încălzirea de regim θ_r rămîne constantă pînă la oprire, cînd are loc răcirea pe o caracteristică corespunzătoare valorii $Q = 0$. Puterile motorului la funcționarea de durată cu sarcina constantă nu pot depăși puterea lui nominală, iar încălzirea de regim va fi $\theta_r = \theta_n$.

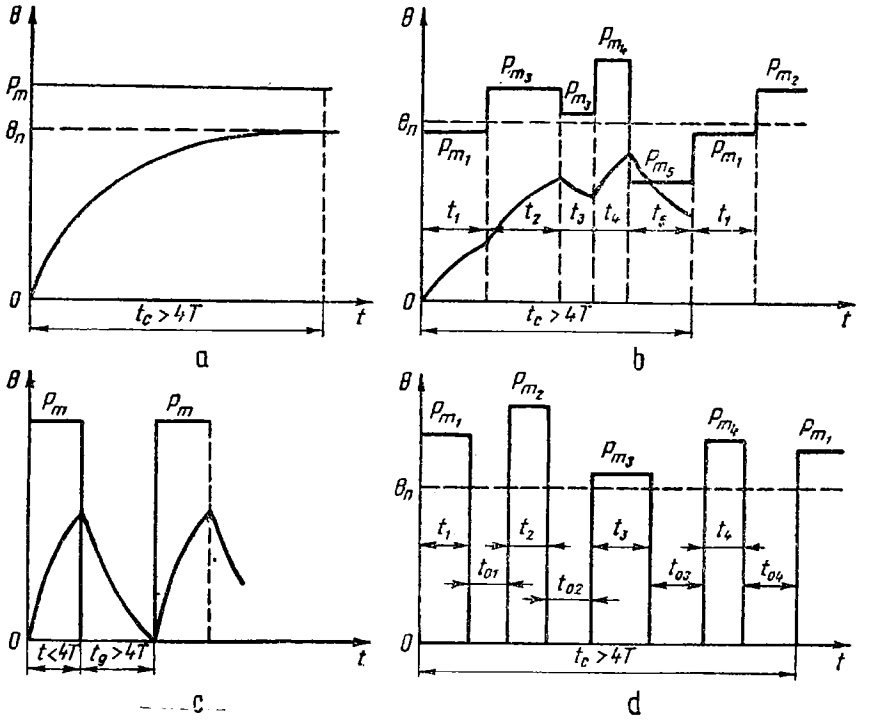


Fig. 6.5. Caracteristici de încălzire specifice funcționării motoarelor electrice în diferite condiții de sarcină:

a — funcționare de durată cu sarcină constantă; *b* — funcționare de durată cu sarcină variabilă; *c* — funcționare de scurtă durată; *d* — regim de funcționare intermitent.

Cînd ciclul de lucru al mașinii acționate impune motorului o funcționare de lungă durată la sarcină variabilă, cantitatea de căldură produsă de motor și în consecință încălzirea θ vor fi de asemenea variabile conform caracteristicii reprezentate în figura 6.5, *b*. Regimul de funcționare a mașinii reprezentat în figura 6.5 impune motorului să asigure în anumite intervale determinate de timp puteri diferite. Fazele ciclului de lucru se caracterizează prin perioada în care puterea motorului se consideră constantă, care diferă de puterile corespunzătoare perioadei premergătoare și următoare. Corespunzător ecuației de încălzire, fiecărei valori a puterii îi va corespunde o caracteristică de încălzire proprie, determinată de pierderile de energie specifice.

La trecerea motorului de la o funcționare la o putere oarecare la alta mai mare, cantitatea de căldură produsă în unitatea de timp va crește și deci încălzirea motorului se va face mai intens. Dacă motorul trece de la o putere mai mare la funcționarea cu o putere mai mică, căldura produsă în unitatea de timp scade și încălzirea lui variază după o curbă asemănătoare curbelor de răcire. Ca urmare acest regim permite funcționarea motorului în anumite perioade de suprasarcină, cu condiția ca încălzirea să se mențină sub valoarea nominală admisibilă θ_n.

Durata de funcționare a motorului la valori ale puterii P_x mai mari decît puterea nominală P_n va fi deci limitată și va depinde de încălzirea lui la

apariția suprasarcinii. Pentru puteri $P_x \leqslant P_n$, timpul de funcționare poate fi oricît de îndelungat deoarece în acest caz încălzirile $\theta_r \leqslant \theta_n$.

Dacă motorul electric deservește un mecanism pentru care ciclul de lucru este format din perioade de funcționare avînd o durată în care încălzirea nu depășește valoarea nominală admisibilă θ_n, urmate de opriri în care se produce răcirea la temperatura mediului ambiant, regimul lui de funcționare este denumit *de scurtă durată.*

Motorul electric folosit în regim de scurtă durată poate lucra la suprasarcină, durata funcționării fiind însă limitată, astfel ca el să nu depășească niciodată încălzirea nominală θ_n. Prin urmare timpul de funcționare al motorului va fi $t \leqslant 4\,T$ (cu atît mai mic cu cît suprasarcina va fi mai mare), iar oprirea va dura cel puțin un timp $t \geqslant 4\,T$, necesar pentru răcirea la temperatura mediului.

Fiecare motor destinat pentru o funcționare de scurtă durată are un regim nominal, corespunzător timpului de lucru indicat pe plăcuța mașinii pentru puterea caracteristică menționată în datele tehnice. Normele indică pentru durata de funcționare în sarcină perioade de 15; 30 sau 60 min.

Regimul de funcționare de scurtă durată are caracteristica de încălzire reprezentată în figura 6.5, *c*, observîndu-se alternanța perioadelor de încărcare cu perioade de oprire mai lungi.

În cazul mecanismelor la care funcționarea este formată din perioade de lucru alternînd cu perioade scurte de oprire, motorul este supus unui regim intermitent. Regimul de funcționare intermitent se caracterizează prin aceea că, la oprire, motorul nu are timp suficient pentru răcirea lui la temperatura mediului. Caracteristica de încălzire a motorului va fi formată din curbele de încălzire specifice diferitelor puteri necesare unui ciclu de lucru, alternînd cu curbe de răcire, fără a ajunge însă în timpul unui ciclu la răcirea completă a motorului (fig. 6.5, *d*). Un ciclu de funcționare în regim intermitent nu depășește 10 min, iar la majoritatea mașinilor-unelte el este sub 2 min, după care întregul ciclu se reia fără modificări esențiale în structura sa.

Ciclul de lucru pentru funcționarea în regim intermitent poate fi format din perioade egale de încărcare și oprire sau dintr-o succesiune de încărcări și opriri, avînd sarcini și durate, diferite de la o fază la alta.

În consecință motorul este supus unor condiții echivalente cu funcționarea de durată la sarcină variabilă, deoarece atît perioadele de încărcare cît și cele de oprire durează un timp $t \leqslant 4\,T$, fapt care determină menținerea încălzirii într-un regim tranzitoriu.

Motorul va putea funcționa la suprasarcină, dar va trebui asigurată menținerea încălzirii sub valoarea nominală admisibilă.

6.3. DETERMINAREA PUTERII MOTOARELOR PE BAZA REGIMULUI TERMIC

Alegerea motoarelor necesare pentru acționarea mașinilor-unelte prezintă o importanță deosebită deoarece comportă atît stabilirea tipului de motor (de curent continuu, alternativ sau de construcție specială) cît și determinarea

caracteristicilor tehnice și în special a puterii, care să satisfacă în cele mai bune condiții regimul de funcționare specific fiecărei mașini în parte.

Tipul de motor se alege ținînd seama de caracteristica mecanică impusă de tehnologia de prelucrare și de dinamica mecanismelor din lanțul cinematic acționat, iar puterea nominală se stabilește în funcție de regimul de sarcină pe care trebuie să-l asigure motorul.

Condițiile care determină alegerea tipului de motor au fost analizate în capitolele precedente. În ceea ce privește alegerea puterii motoarelor de acționare, se va avea în vedere că adoptarea unor valori prea mari determină utilizarea incompletă a capacității motorului, funcționarea lui cu un randament scăzut, creșterea consumului de energie și mărirea nejustificată a prețului de cost și de exploatare al mașinii-unelte. În cazul alegerii unor motoare cu o putere prea mică se reduc posibilitățile mașinii-unelte, întrucît nu permit realizarea regimului de prelucrare propus, iar motorul fiind suprasolicitat este scos prematur din uz.

Alegerea unor motoare cu o putere necorespunzătoare se datorește, în majoritatea cazurilor, faptului că nu se analizează suficient condițiile de lucru ale mașinii-unelte. În această analiză, o problemă deosebită pentru alegerea corectă a motoarelor folosite la acționarea diferitelor lanțuri cinematice o constituie realizarea corectă a diagramei de sarcină. Această diagramă trebuie să reflecte fidel variația sarcinii în timpul lucrului la mașina-unealtă. La întocmirea diagramei se ține seama de o serie de factori, printre care o importanță deosebită o prezintă succesiunea fazelor de lucru, a perioadelor de mers în gol sau de oprire, durata acestora, valoarea sarcinilor corespunzătoare lor, durata ciclului de lucru, regimurile tranzitorii etc.

Diagrama de sarcină se determină cunoscînd gradul de specializare a mașinii-unelte, acest aspect evidențiind stabilitatea ciclului de lucru al mașinii și a regimului de funcționare a motorului de acționare. Pentru alegerea puterii motoarelor va trebui elaborată diagrama de încărcare a mașinii-unelte, corespunzător ciclului de lucru caracteristic, și a diferitelor lanțuri cinematice acționate prin motoare independente.

Diagrama de încărcare a unei mașini-unelte sau a unui lanț cinematic, exprimînd variația sarcinii la organul de lucru pe toată durata unui ciclu, permite să se realizeze cu ușurință diagrama de sarcină a motorului de acționare. În acest scop se vor lua în considerare randamentele mecanismelor din lanțul cinematic acționat, corespunzător fiecărei perioade de funcționare.

Diagramele de sarcină ale motoarelor trebuie exprimate în mărimi caracteristice pentru regimul lor de funcționare, anume acela care le determină pierderile și deci încălzirea. Aceste mărimi sînt: curentul principal (reprezentînd curentul prin indus în cazul motoarelor de curent continuu și prin stator la motoarele asincrone), cuplul motor și puterea nominală. Folosirea uneia sau alteia din formele de reprezentare a diagramelor de sarcină va fi determinată de tipul de motor necesar și de condițiile de funcționare ale acestuia.

În cazul mașinilor-unelte, pentru realizarea proceselor tehnologice se folosesc motoare electrice cu caracteristica mecanică dură, la care (dacă funcționarea se menține pe caracteristica naturală în porțiunea stabilă) curentul principal este proporțional atît cu cuplul motor cît și cu puterea și prin urmare diagrama de sarcină va putea exprima variația oricăreia din mărimile

caracteristice ale motorului (curent, cuplu, putere) în timpul unui ciclu de lucru.

Dacă proporționalitatea între curent și cuplu sau între curent și putere nu se menține, diagrama de sarcină va putea fi reprezentată numai în funcție de curent sau una dintre mărimile fizice cu care acesta este porporțional. Această situație se întîlnește în cazul folosirii motoarelor cu turație reglabilă. De exemplu, la motoarele de curent continuu cu turația reglabilă prin variația fluxului, curentul nu este proporțional cu cuplul motor și în consecință nu se va putea utiliza diagrama de sarcină funcție de cuplu. În schimb, dacă turația se reglează prin variația tensiunii, puterea nu mai este proporțională cu curentul; prin urmare diagrama de sarcină exprimînd variația puterii nu va mai corespunde. Cînd motorul va funcționa într-un domeniu de turații care necesită atît variația tensiunii cît și a fluxului, diagrama de sarcină se va realiza numai pe baza curentului principal.

Condiții similare se întîlnesc și la motoarele asincrone, mărimea constantă determinînd reprezentarea diagramei de sarcină.

Modul de reprezentare a diagramelor de sarcină este asemănător indiferent care va fi parametrul folosit pentru exprimarea variației în timp a încărcării motorului. În figura 6.6, *a...f* sînt prezentate formele caracteristice ale diagramelor de sarcină frecvent întîlnite în acționarea mașinilor-unelte. Varianta din figura 6.6, *a* corespunde mașinilor-unelte la care durata unui ciclu de lucru este mare, iar sarcina se menține constantă în tot timpul prelucrării. În acest caz diagrama de sarcină se execută luînd în considerare cel mai greu regim de lucru prevăzut pentru mașina al cărei motor trebuie ales, iar durata ciclului se consideră nelimitată. Motorul are un regim de funcționare de durată cu sarcină constantă și este specific pentru acționarea mașinilor-unelte universale, a mașinilor-unelte grele (strunguri carusel, mașini de frezat portal, strunguri normale mari), cum și pentru mașini-unelte speciale, ca de exemplu mașini de frezat roți dințate cu freză melc etc.

Diagrama din figura 6.6,*b* corespunde unei sarcini care variază periodic între aceleași limite și determină la motor un regim de funcționare de durată cu sarcină variabilă specific mașinilor de mortezat, mașinilor de rabotat tip șeping și ferăstraielor cu mișcare alternativă.

Similar, diagrama din figura 6.6, *c*, specifică mașinilor-unelte cu mișcare rectilinie alternativă din categoria mașinilor de rabotat, ia în considerare perioadele corespunzătoare regimului tranzitoriu de la capetele de cursă datorită frecvenței lor și a maselor mari antrenate.

Diagrama de sarcină din figura 6.6, *d* corespunzătoare mașinilor unelte automate, menține motorul în condițiile unei funcționări de durată cu sarcină variabilă.

Regimul de funcționare intermitent prezentat în figura 6.6, *e* este specific pentru majoritatea mașinilor-unelte ușoare (mașini de găurit, de filetat, de alezat, de rectificat. de frezat etc.).

Pentru lanțurile cinematice auxiliare (de deplasare rapidă, de reglare, de strîngere și fixare etc.) se folosește diagrama de sarcină din figura 6.6, *f*, la care motorul electric este supus unui regim de funcționare de scurtă durată.

Diagrama de sarcină, proprie unui anumit lanț cinematic acționat cu motor independent, permite stabilirea regimului de funcționare la care va fi

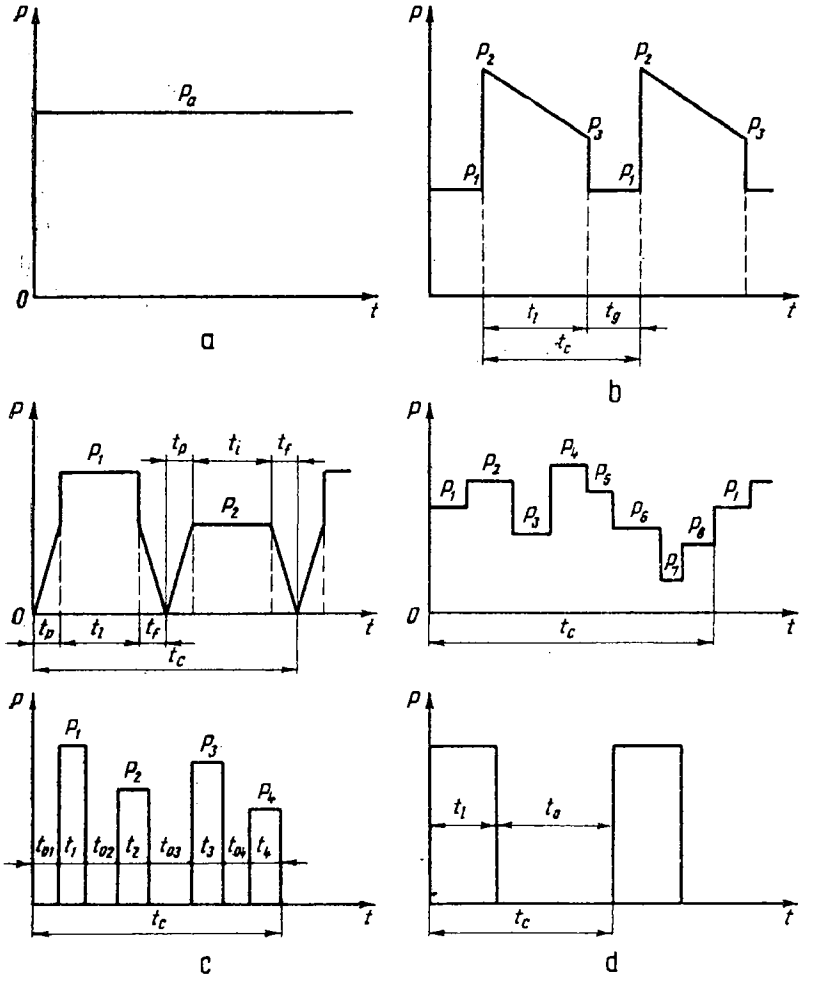


Fig. 6.6. Diagrame de sarcină specifice acționării lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte:

a — sarcină constantă de durată; *b* — sarcină de durată variabilă periodic; *c* — sarcină variabilă conținînd perioade de regim tranzitoriu; *d* — sarcină variabilă de durată; *e* — regim de sarcină intermitentă; *f* — sarcină de scurtă durată.

supus motorul și în consecință verificarea lui din punct de vedere termic. Această diagramă permite, de asemenea, să se determine suprasarcina corespunzătoare încărcării maxime din perioada de lucru și să se aleagă motorul, astfel încît să nu se depășească limita admisă prin construcție.

Alegerea motorului impune analiza diagramei de sarcină pentru fiecare mașină nou proiectată și stabilirea motorului, astfel încît el să satisfacă regimul de funcționare, fără a depăși încălzirea nominală θ_n.

Calculul puterii pe baza diagramelor de sarcină se face diferențiat pentru cele patru regimuri de funcționare, ținînd seama de încălzirea nominală admisă la motor.

6.3.1. STABILIREA PUTERII NECESARE PENTRU REGIMUL DE FUNCȚIONARE DE DURATĂ CU SARCINĂ CONSTANTĂ

Regimul de durată cu încărcare constantă are diagrama de sarcină corespunzătoare figurii 6.5, *a*, iar determinarea puterii motorului de acționare nu comportă dificultăți. Calculele necesare se rezumă la stabilirea puterii sau cuplului maxim necesar la arborele de acționare, iar alegerea motorului se face din catalog, la o putere egală sau imediat superioară celei obținute din condițiile mecanice.

O atenție deosebită trebuie să se acorde determinării puterii mecanice la arborele motorului, deoarece randamentul mașinilor-unelte depinde de randamentele mecanismelor din lanțul cinematic acționat. Aceasta înseamnă că schimbarea turației la arborele principal al mașinii-unelte va avea drept consecință modificarea randamentului. Prin urmare, considerînd că pentru realizarea celui mai greu regim de prelucrare este necesar să se asigure o forță de așchiere F_{max}, puterea la arborele principal a mașinii-unelte va fi

$$P_{a\,max} = \frac{F_{max} V_{max}}{6\,120} \text{ kW}. \tag{6.37}$$

Acestei puteri îi corespunde la arborele motorului o putere

$$P_{M\,max} = P_{a\,max/\eta\,min}, \tag{6.38}$$

în care $\eta_{mtn} = \eta_{i1} \cdot \eta_{i2} \ldots \eta_{in}$ reprezintă randamentul minim al ansamblului acționat. Pentru determinarea acestui randament se are în vedere că un anumit regim de așchiere poate fi realizat în condiții diferite. La strunjire de exemplu, viteza de așchiere și forța rămîn aceleași pentru un regim de prelucrare stabilit, indiferent care vor fi dimensiunile pieselor. În mod similar, la prelucrarea prin frezare se pot folosi scule de dimensiuni diferite pentru realizarea aceluiași regim de așchiere. Aceste considerații sînt valabile și pentru regimul de prelucrare corespunzător forței F_{max} și vitezei V_{max}. Înseamnă că pentru realizarea vitezei de așchiere maxime, la valori diferite ale diametrului piesei sau sculei (frezei), se vor putea folosi toate turațiile arborelui principal sau majoritatea lor. Reglarea turațiilor, realizîndu-se prin manevrarea roților în angrenare, determină modificarea randamentului ansamblului cinematic. Prin urmare, calculul puterii la arborele motorului se va face luînd în considerare acea variantă a transmisiei mecanice care funcționează la sarcina maximă cu randament minim.

Dacă motorul pentru acționarea lanțului cinematic principal servește și la antrenarea lanțului cinematic de avans, puterea lui va fi majorată corespunzător. În acest scop se va calcula randamentul mecanismului de avans specific regimului la care s-a făcut determinarea puterii necesare pentru mișcarea principală. Obișnuit, acest randament are valori de 0,1...0,2, iar puterea necesară reprezintă aproximativ 5% din puterea la arborele principal. Din această cauză, în majoritatea cazurilor puterea de avans nu se calculează ci se majorează puterea obținută pentru acționarea lanțului cinematic principal cu procentul indicat.

Dacă lanțurile cinematice de avans sînt acționate prin motoare proprii, regimul de funcționare va fi considerat ca fiind de lungă durată cu sarcină constantă. Diagrama de sarcină va fi de genul celei reprezentate în figura 6.5, *a*, iar calculul se va face în funcție de forța de avans maximă și de forța de frecare în ghidaje.

6.3.2. CALCULUL PUTERII MOTOARELOR FUNCȚIONÎND ÎN REGIM DE DURATĂ CU SARCINĂ VARIABILĂ

La mașinile-unelte specializate pentru realizarea unui anumit produs, fiecărei faze din procesul tehnologic îi corespunde o putere determinată la arborele principal, iar durata și succesiunea lor sînt riguros precizate. Prin urmare un ciclu de lucru va putea fi redat prin diagrama de încărcare a mașinii, în care se vor preciza, în ordinea succesiunii fazelor, puterile necesare și durata acestora. În figura 6.7 este prezentat prin linie punctată exemplul unei diagrame de încărcare, specifică unei mașini-unelte la care ciclul de lucru cuprinde cinci perioade distincte.

Fiecărei perioade îi corespunde o putere determinată și, făcînd parte din ciclul unei mașini specializate, se presupune că nu va suferi modificări deosebite în tot timpul exploatării. Alegerea motorului de acționare se face, în acest caz, considerînd funcționarea în regim de durată cu sarcină variabilă.

Pentru determinarea puterii motorului este necesar să se calculeze în primul rînd încărcarea la arborele motorului pentru fiecare perioadă și să se traseze diagrama de sarcină a motorului, așa cum se arată în figura 6.7. Calculul puterilor necesare la arborele motorului se face folosind relația

$$P_{mx} = P_{ax}/\eta_{ax}, \tag{6.39}$$

în care: P_{ax} reprezintă puterea la arborele principal, corespunzătoare perioadei considerate;

η_{ax} — randamentul mașinii-unelte la încărcarea P_{ax}.

Avînd diagrama de sarcină stabilită, se face alegerea motorului, astfel încît acesta să poată asigura puterea maximă necesară pentru realizarea procesului tehnologic fără a se încălzi peste valoarea admisă.

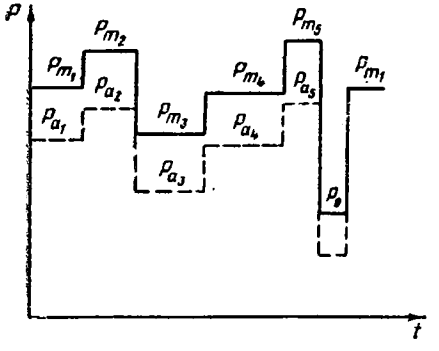


Fig. 6.7. Diagrama de încărcare a unei mașini-unelte cu sarcină variabilă.

Deoarece puterea maximă poate fi realizată în regim de suprasarcină, se va efectua în primul rînd calculul puterii pe baza încălzirii nominale amisibile. În acest scop se are în vedere faptul că datele tehnice ale mașinii electrice înscrise în catalog precizează numai condițiile de funcționare în regim de durată cu sarcina constantă. Aceasta înseamnă că pentru a evita supraîncălzirea motorului este necesar să se determine o putere constantă care, într-un timp egal cu durata ciclului de lucru, ar produce o încălzire echivalentă cu aceea provocată de puterea variabilă reprezentată în diagrama de sarcină.

Prin urmare, considerînd cazul general al unui motor care funcționează în regim de durată cu sarcină variabilă, se poate scrie că în fiecare perioadă el produce pe secundă o cantitate de căldură corespunzătoare pierderilor de putere. Pentru o diagramă de sarcină cuprinzînd k valori diferite ale puterii, aceste pierderi vor fi:

$$P_1 = P_{m1}\frac{1-\eta_1}{\eta_1};$$

$$P_2 = P_{m2}\frac{1-\eta_2}{\eta_2};$$

$$\cdot$$

$$P_k = P_{mk}\frac{1-\eta_k}{\eta_k},$$

iar căldura degajată într o secundă în fiecare din perioadele de lucru

$$Q_1 = 0{,}24\,\Delta P_1;\quad Q_2 = 0{,}24\,\Delta P_2;\ldots;\quad Q_k = 0{,}24\,\Delta P_k.$$

Folosind aceste valori, se poate determina cantitatea de căldură produsă într-un ciclu de lucru al mașinii

$$Q_1t_1 + Q_2t_2 + \ldots + Q_kt_k = Q_c, \tag{6.40}$$

unde Q_c reprezintă cantitatea de căldură produsă în motor pe toată durata ciclului, în cal.

Considerînd că în același timp, un motor funcționînd în regim de durată cu sarcină constantă va produce o cantitate de căldură egală cu aceea produsă în condițiile diagramei de sarcină reală, se poate scrie $Q_c = Q_et_c$.

În această relație Q_e reprezintă cantitatea de căldură echivalentă pe care ar trebui să o producă motorul pe secundă, pentru ca efectul termic în regim de durată cu sarcină constantă să fie identic cu al regimului de durată cu sarcină variabilă, corespunzător diagramei de sarcină a motorului, iar t_c - timpul în care se realizează ciclul de lucru.

Înlocuind valoarea obținută pentru Q_c în relația (6.40), se obține

$$Q_1t_1 + Q_2t_2 + \ldots + Q_kt_k = Q_et_c,$$

de unde rezultă

$$Q_e = \frac{Q_1t_1 + Q_2t_2 + \ldots + Q_kt_k}{t_c}. \tag{6.41}$$

Valorii Q_e îi corespunde o anumită valoare a pierderilor ($Q_e = 0{,}24\,\Delta P_e$). Aceasta înseamnă că înlocuind valorile $Q_1; Q_2 \ldots Q_k$ și Q_e prin pierderile caracteristice lor, expresia (6.41) devine

$$\Delta P_e = \frac{\Delta P_1t_1 + \Delta P_2t_2 + \ldots + \Delta P_kt_k}{t_c} = \sum_{i=1}^{i=k}\frac{\Delta P_it_i}{t_c}; \tag{6.42}$$

aceasta reprezintă formula pierderilor medii, pe baza căreia se poate face alegerea motorului de acționare. În acest scop se vor compara pierderile

echivalente ΔP_e, obținute prin calcul, cu pierderile menționate în cataloage pentru funcționarea motoarelor la sarcina nominală. Se va alege motorul pentru care pierderile din catalog sînt egale sau au valoarea imediat superioară celei rezultate prin calcul.

Se constată că formula pierderilor medii nu determină încălzirea maximă a motorului în diversele etape ale ciclului de lucru. În consecință, deși încălzirea medie nu depășește valoarea încălzirii nominale θ_n, există posibilitatea ca la un moment dat, motorul funcționînd în suprasarcină, încălzirea lui să depășească pentru un timp limita admisă.

Această posibilitate se poate realiza cu atît mai ușor cu cît în diagrama de sarcină se succed o serie de perioade, în care motorul funcționează la suprasarcină. Din această cauză, după alegerea motorului, este necesar să se verifice încălzirea maximă pentru încărcarea reală și temperatura lui la reluarea ciclului de lucru.

Pentru această verificare, se va determina încălzirea motorului ales la sfîrșitul fiecărei perioade cuprinse în diagrama de sarcină, folosind relația generală

$$\theta_x = \frac{Qx}{A}(1 - e^{-t/T}) + \theta_{x-1} e^{-t/T},$$

în care: θ_x reprezintă încălzirea corespunzătoare puterii P_x;

Q_x — cantitatea de căldură produsă în motor, într-o secundă, cînd funcționează la puterea P_x;

θ_{x-1} — încălzirea la care se află motorul la sfîrșitul perioadei precedente celei considerate.

Verificarea încălzirii maxime nu este necesară în cazul diagramelor la care suprasarcina urmează unei perioade de subsarcină îndelungată și durata ei este mică în raport cu constanta de timp a încălzirii.

În alegerea motorului se va urmări ca reluarea ciclului de lucru să se producă la aceeași valoare a încălzirii.

În cazurile în care se impune verificarea încălzirii maxime, valorile Q_x se vor calcula conform celor menționate în subcapitolul 6.2, ținînd seama de randamentul motorului la funcționarea în sarcini diferite.

Calculul puterii prin formula pierderilor medii se aplică în mod deosebit motoarelor asincrone cu rotorul în colivie dublă sau motoarelor cu crestături adînci. Pentru celelalte tipuri de motoare se folosesc forme simplificate ale acestei formule, prin transformarea pierderilor în mărimi echivalente caracteristice. Aceste mărimi sînt: curentul principal, cuplul motor și puterea.

Pentru transformarea formulei pierderilor medii, se vor separa pierderile corespunzătoare diferitelor sarcini, în pierderi constante și pierderi variabile. În acest fel, din relația (6.42) se obține expresia

$$\Delta P_c + \Delta P_{cv} = \frac{(\Delta P_c + \Delta P_{1v})\, t_1 + (\Delta P_c + \Delta P_{2v})\, t_2 + \ldots + (\Delta P_c + \Delta P_{kv})\, t_k}{t_c},$$

în care:

$$\Delta P_{cv} = bI_e^2; \quad \Delta P_{1v} = bI_1^2; \quad \Delta P_{2v} = bI_2^2; \ldots$$

Făcînd înlocuirile și efectuînd simplificările posibile, rezultă

$$\Delta P_c + bI_e^2 = \frac{\Delta P_c(t_1 + t_2 + \ldots t_k) + b(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_k^2 t_k)}{t_c},$$

unde $t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_k = t_c$.

Rezultă

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_k^2 t_k}{t_c}}. \tag{6.43}$$

Această expresie reprezintă formula curentului echivalent și permite determinarea puterii motorului necesar, comparînd valoarea obținută din calcul cu valorile curentului nominal prevăzute în cataloage. După alegerea motorului, se verifică încălzirea maximă și funcționarea la suprasarcină maximă.

Formula curentului echivalent poate fi utilizată în condițiile în care pierderile în fier și pierderile mecanice rămîn constante, iar variația sarcinii se produce într-un timp foarte scurt. Utilizarea formulei este posibilă numai în cazul cînd, în timpul ciclului de lucru, constanta de timp a încălzirii, T, rămîne aceeași.

Dacă în diagramele de sarcină există anumite perioade în care încărcarea variază liniar (fig. 6.8, *a*), curentul corespunzător acestei perioade se va calcula exprimînd creșterea de curent într-un interval de timp infinit mic, conform relației

$$I_e = \frac{\int_0^{t_c} I^2 \, \mathrm{d}t}{t_c}. \tag{6.44}$$

Această relație exprimă valoarea curentului echivalent pentru variații mici de curent, în intervale de timp infinit mici. În cazul variației liniare, din expresia dreptei reprezentate în sistemul I, t (fig. 6.8,*a*), rezultă

$$\mathrm{d}t = \frac{t_c}{I_1 - I_2} \mathrm{d}I.$$

Înlocuind expresia lui $\mathrm{d}t$ în relația (6.44) și efectuînd integrarea se obține curentul echivalent pentru perioada considerată

$$I_{1,2} = \int_{I_1}^{I_2} \frac{I^2}{(I_1 - I_2)} \mathrm{d}I = \frac{I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2}{3}. \tag{6.45}$$

La diagramele de sarcină avînd porțiuni în care apar variații de încărcare după o curbă oarecare (fig. 6.8,*b*) se procedează la divizarea pe sectoare, astfel stabilite încît la asimilarea cu o dreaptă eroarea să fie minimă, după care se determină curentul echivalent pentru fiecare sector în parte. Valorile astfel obținute vor servi la determinarea puterii motorului necesar pentru acționare.

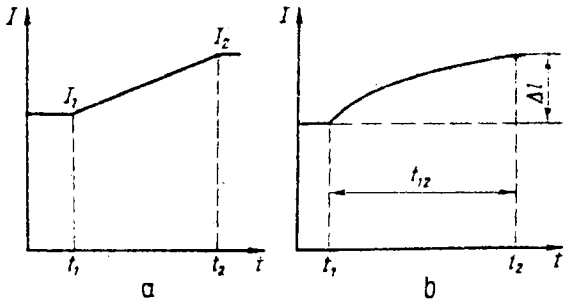


Fig. 6.8. Diagrame de variație a curentului în diferite faze de lucru:
a — variație liniară; *b* — variația după o curbă.

În cazul motoarelor de curent continuu cu excitația în derivație și pentru motoarele asincrone pe porțiunea stabilă a caracteristicii mecanice, cuplul motor poate fi exprimat prin relația: $M = K_M \Phi I$, în care fluxul Φ poate fi considerat constant. Prin urmare cuplul motor, pentru situațiile menționate, poate fi considerat proporțional cu curentul principal. Ținînd seama de aceasta se poate face înlocuirea curentului prin cuplu motor și în consecință formula (6.43) devine

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \ldots + M_k^2 t_k}{t_c}}. \qquad (6.46)$$

Relația (6.46) exprimă formula cuplului echivalent, pe baza căreia alegerea motorului se face procedînd după cum urmează:

— se compară valoarea rezultată din calcul cu cuplul nominal înscris în catalog, alegîndu-se motorul la care valoarea cuprinsă în datele tehnice corespunde cu cea calculată sau este imediat superioară acesteia;

— se verifică dacă motorul asigură funcționarea la valoarea cuplului maxim din diagrama de sarcină;

— se verifică raportul dintre cuplul de pornire și cuplul rezistent la pornire;

— dacă există pericolul depășirii încălzirii nominale admise θ_n, se calculează încălzirea maximă și se compară cu valoarea indicată în catalog.

Formula cuplului echivalent este comodă în practică și se utilizează pe baza diagramelor de sarcină reprezentînd variația momentului activ (motor) în timpul unui ciclu de lucru. Această formulă poate fi utilizată numai în limitele în care se menține proporționalitatea dintre cuplul motor și curentul principal. Ea nu va putea fi folosită, de exemplu, dacă acționarea se face cu motoare de curent continuu cu excitația în derivație, la care se prevede reglajul turației prin variația fluxului, și la motoare asincrone, la care reglarea turației se face prin modificarea frecvenței curentului de alimentare.

Formula cuplului echivalent va putea fi aplicată pentru cazurile menționate numai după refacerea diagramei de sarcină, folosind un factor de corecție determinat din condiția

$$\frac{M_n}{M_x} = \frac{K_M \Phi_n I_n}{K_M \Phi_x I_n} = \frac{\Phi_n}{\Phi_x} = K_\Phi, \qquad (6.47)$$

de unde rezultă

$$M_x = \frac{M_n}{K_\Phi}. \qquad (6.48)$$

Factorul de corecție poate fi exprimat mai simplu în funcție de variația turației, dacă tensiunea de alimentare și căderea de tensiune în motor sînt aproximativ constante. În aceste condiții se poate scrie

$$E = U - R_A I_n = K_e \Phi_n n_n = K_e \Phi_x n_x,$$

de unde rezultă egalitatea raporturilor

$$\frac{\Phi_n}{\Phi_x} = \frac{n_x}{n_n} = K_n = K_\Phi. \tag{6.49}$$

Cunoscînd factorul de corecție, pentru toate valorile cuplurilor prevăzute în diagrama de sarcină, se determină cuplurile corespunzătoare valorii nominale a fluxului Φ_n, după care se poate aplica formula cuplului echivalent pentru determinarea motorului necesar.

Pentru motoarele la care turația poate fi considerată ca fiind constantă în tot timpul funcționării (motoare cu caracteristici mecanice rigide) sau la care reglarea turației se face la putere constantă, curentul poate fi considerat proporțional cu puterea și din formula curentului echivalent se obține formula puterii echivalente

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \ldots + P_k^2 t_k}{t_c}}. \tag{6.50}$$

Această formulă este mult mai comodă, deoarece determinarea puterilor necesare pentru executarea diferitelor prelucrări pe mașini-unelte se face ușor. Utilizarea ei se bazează pe diagrama de sarcină reprezentînd variația puterii în timpul unui ciclu de lucru, puterile înscrise în diagramă fiind puterile de așchiere reduse la arborele motorului, pe baza randamentelor corespunzătoare diverselor încărcări ale mașinii-unelte.

Alegerea motorului, pe baza formulei puterii echivalente, constă în compararea puterii rezultate din calcul cu puterile înscrise în catalog și adoptarea unui motor avînd puterea egală sau imediat superioară celei calculate.

Dacă diagrama de sarcină prezintă variații mari ale puterii și există pericolul depășirii încălzirii admisibile se impune și în acest caz verificarea încălzirii maxime.

Se verifică, de asemenea, condițiile de funcționare la suprasarcină pentru a nu depăși supraîncărcarea admisă, precum și raportul dintre cuplul de pornire și cuplul rezistent la pornire. Ultima verificare se impune numai în cazul mașinilor grele.

Domeniul de aplicare al formulei puterii echivalente poate fi extins, folosind diagrame de sarcină corectate, similare cu cele menționate pentru folosirea formulei cuplului echivalent.

Utilizarea formulelor puterii și cuplului echivalent se poate face și în cazurile specifice formulei curentului echivalent (6.45), corespunzătoare unor sarcini variabile în timp.

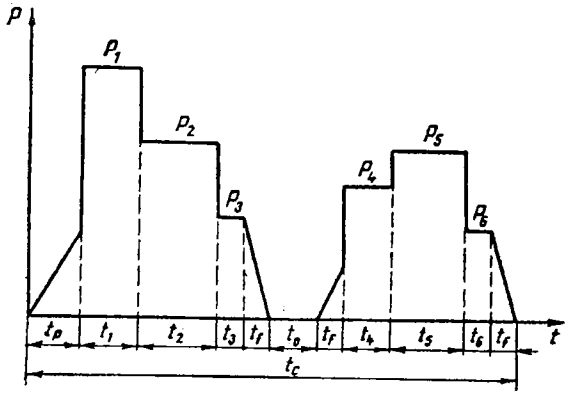


Fig. 6.9. Diagrama de sarcină variabilă de durată cu perioade de oprire și regimuri tranzitorii între faze.

Pentru aceste condiții formulele de calcul vor fi:

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 + M_1 M_2 + M_3^2}{3}}; \tag{6.51}$$

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_1 P_2 + P_2^2}{3}}.$$

În cazul diagramelor de sarcină având forma reprezentată în figura 6.9 se prevede oprirea motorului în anumite perioade ale ciclului de lucru. Deoarece în aceste perioade are loc înrăutățirea condițiilor de ventilație prin reducerea turației, schimbul de căldură cu mediul înconjurător se face mai greu. De acest aspect trebuie să se țină seama la alegerea motoarelor, indiferent care va fi formula de calcul folosită la verificare.

În acest scop trebuie să se aibă în vedere că la oprire, turația motorului fiind zero, cantitatea de căldură cedată mediului în unitatea de timp este mai mică decît în funcționare.

Aceasta înseamnă că se modifică valoarea constantei de cedare a căldurii de la motor la mediul înconjurător și prin urmare se poate scrie inegalitatea $A_0 < A$, în care A_0 reprezintă constanta de cedare a căldurii de la motor la mediu, cînd motorul este oprit, iar A constanta de cedare a căldurii în regim de lucru, în cal/grd.s.

Deci, considerînd că motorul este oprit un timp t_0 și răcirea lui pentru constanta de cedare A_0 ajunge la o valoare θ, aceeași temperatură s-ar realiza, dacă constanta ar fi A, într-un timp $t_0' < t_0$.

Notînd $t_0'/t_0 = A_0/A = \beta$, se obține

$$t_0' = \beta t_0,$$

unde: β reprezintă factorul de înrăutățire a condițiilor de cedare a căldurii de la motor, mediului înconjurător;

t_0' — timpul corespunzător unei răciri echivalente în condițiile menținerii constantei de cedare a căldurii la valoarea corespunzătoare funcționării de regim;

t_0 — timpul de oprire efectiv.

Valorile lui β depind de tipul constructiv al motorului și sînt indicate orientativ în tabelul 6.1.

Influența condițiilor de răcire se face simțită și la pornirea și oprirea motoarelor. Pentru aceste perioade, constantele de timp ale încălzirii au o variație liniară între cele două valori corespunzătoare funcționării normale și opririi.

Factorul de corecție va fi $\beta_t = (1 + \beta)/2$ și se va folosi în formulele de calcul pentru perioadele de regim tranzitoriu.

Tabelul 6.1

Valorile coeficientului β

Tipul motorului	β
Capsulat, fără răcire prin ventilație	0,95...0,98
Capsulat, cu răcire prin ventilație	0,35...0,45
Protejat, cu răcire prin ventilație	0,25...0,35

Efectuînd înlocuirile în formula de calcul se va obține expresia curentului echivalent în forma

$$I_e = \sqrt{\frac{I_x^2 t_x}{\Sigma t_x + \beta \Sigma t_0 + \beta_t \Sigma (t_p + t_f)}}, \qquad (6.52)$$

unde: t_x reprezintă timpii corespunzători perioadelor active;

Σt_0 — suma timpilor de oprire;

$\Sigma(t_p + t_f)$ — suma timpilor de pornire și frînare.

În mod similar se obțin formulele cuplului și puterii echivalente, înlocuind curentul prin valorile cuplului sau puterii corespunzătoare fiecărei perioade active.

Pentru utilizarea corectă a relațiilor de calcul, este necesar să se aibă în vedere tipul de motor la care se referă calculul, precum și frecvența regimurilor tranzitorii. De exemplu, pentru diagramele de sarcină avînd o frecvență mare a pornirilor și opririlor, nu se poate folosi formula puterii echivalente, deoarece în regim tranzitoriu turația este variabilă și nu se menține proporționalitatea dintre curent și putere. În cazul motoarelor în scurtcircuit cu bare rotunde, dacă frecvența pornirilor și opririlor este mare nu va putea fi folosită formula cuplului echivalent, deoarece în regimul tranzitoriu a acestor motoare raportul $M/I \neq$ const.

6.3.3. CALCULUL MOTOARELOR FUNCȚIONÎND ÎN REGIM INTERMITENT

Din cele arătate, în subcapitolul 6.3, regimul intermitent se caracterizează printr-o alternare a perioadelor de funcționare în sarcină cu perioade scurte de oprire. În figura 6.10 este reprezentată o diagramă de sarcină caracteristică regimului intermitent, observîndu-se că încărcarea în perioada de lucru poate fi variabilă atît ca valoare cît și ca durată, cu condiția ca durata unui ciclu de lucru să nu depășească 10 min.

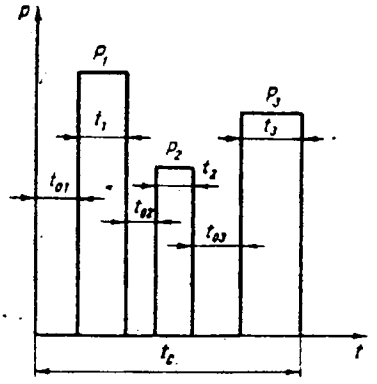


Fig. 6.10. Diagrama de încărcare în regim intermitent.

Aceasta înseamnă că pentru un regim de funcționare intermitent se vor folosi minimum șase conectări pe oră, iar numărul maxim va ajunge la cîteva mii.

Ținînd seama de numărul mare al pornirilor și opririlor, în majoritatea cazurilor determinarea puterii motoarelor funcționînd în regim intermitent se bazează pe formula pierderilor medii, în care, pentru perioadele de oprire și de regim tranzitoriu se fac corecțiile necesare. Prin urmare relația de calcul pentru pierderile echivalente în regim intermitent va avea forma

$$\Delta P_e = \frac{\Sigma \Delta P_x t_x + \Sigma \Delta P_p t_p + \Sigma \Delta P_f t_f}{\Sigma t_x + \beta \Sigma t_0 + \beta_t \Sigma (t_p + t_f)}, \quad (6.53)$$

unde: ΔP_x reprezintă pierderile corespunzătoare perioadelor de funcționare;

t_x — duratele specifice perioadelor de lucru;

ΔP_p — pierderile în motor la pornire;

t_p — duratele perioadelor de pornire;

ΔP_f — pierderile în motor la frînare;

t_f — duratele perioadelor de frînare;

β și β_t — factori de corecție avînd aceeași semnificație ca și în regimul de durată cu sarcină variabilă.

Pentru efectuarea calculelor, se va alege în prealabil un motor pe baza condițiilor de suprasarcină, astfel încît să satisfacă diagrama de sarcină, apoi se va face verificarea lui. La alegerea inițială se va adopta motorul cel mai mic, care asigură realizarea ciclului de lucru și suprasarcina maximă; apoi, acesta se verifică cu ajutorul formulei pierderilor medii la încălzire.

Motoarele pentru funcționarea în regim intermitent sînt de construcție specială și la alegerea lor este necesar să se verifice durata relativă de conectare. Prin durată relativă de conectare se înțelege raportul dintre perioada de funcționare și timpul corespunzător unui ciclu. Ea poate fi exprimată sub forma

$$D_A = \frac{\Sigma t_{ix}}{\Sigma t_{ix} + \Sigma t_0} \cdot 100 = \frac{t_i}{t_i + \Sigma t_0} \cdot 100\ [\%], \quad (6.54)$$

unde t_i reprezintă timpul de lucru efectiv.

Dacă se ține seama de influența opririlor, durata activă de conectare poate fi exprimată în forma corectată, folosind pentru timpii de oprire factorul de corecție β.

În consecință durata activă de conectare corectată are expresia

$$D_A = \frac{t_i}{t_i + \beta t_0}\ [\%]. \quad (6.55)$$

Deoarece pentru acționarea mașinilor-unelte se folosesc în mod deosebit motoare asincrone în scurtcircuit, la funcționarea lor în regim intermitent trebuie să se țină seama de următoarele aspecte:

— frecvența conectărilor poate ajunge la valori foarte mari;

— condițiile de funcționare în regim intermitent sînt mai grele decît la motoarele de curent continuu, deoarece schimbul de căldură cu mediul înconjurător se face mai dificil;

— solicitările dinamice cresc considerabil.

Astfel, de exemplu, la mașinile de găurit și la mașinile de filetat, frecvența conectărilor pe minut ajunge la valori de 35...40 ceea ce face ca solicitările dinamice să fie foarte mari, iar încălzirea motorului în regim tranzitoriu să influențeze considerabil regimul termic.

Condițiile de funcționare menționate impun ca motoarele folosite în regim intermitent să aibă momentul de giratie și curentul de pornire la valori cît mai mici, iar cuplul de pornire să fie mare. Construcția mecanică trebuie să fie robustă pentru a asigura o rezistență maximă la solicitări dinamice, iar alunecarea nominală mărită realizînd astfel o reducere a șocurilor la trecerea pe porțiunea stabilă a caracteristicii mecanice.

Aceste condiții determină folosirea la funcționarea în regim intermitent a motoarelor asincrone cu colivie dublă sau cu crestături adînci, la care pierderile variabile nu sînt proporționale cu pătratul curentului. Alegerea puterii acestor motoare se face deci numai pe baza formulei pierderilor medii, valoarea pierderilor calculîndu-se conform celor arătate în paragraful 6.1.1.

Pentru calculul motorului se va folosi relația (6.42) cu următoarele precizări:

● În cazul motorului obișnuit puterea trebuie să fie astfel aleasă încît pierderile admise în regim de durată să fie mai mari decît pierderile echivalente rezultate din calcul, urmînd să se verifice numărul admisibil de conectări pe oră.

Pentru determinarea numărului admisibil de conectări pe oră, se consideră că pentru fiecare ciclu va corespunde o singură conectare la rețea. În acest caz, pentru durata unui ciclu t_c, numărul de conectări pe oră va fi $h = 3\,600/t_c$.

Prin urmare, exprimînd timpul unui ciclu sub forma $t_c = 3\,600/h$, timpul de oprire poate fi exprimat prin relația $t_0 = t_c - t_l = \dfrac{3\,600}{h} - t_l$, în care t_l reprezintă timpul efectiv de lucru.

Luînd în considerare influența timpului de oprire asupra încălzirii, un motor avînd puterea nominală P_n și pierderile corespunzătoare ΔP_n poate lucra un anumit timp la o sarcină echivalentă $P_e > P_n$, corespunzător pierderilor ΔP_e.

În consecință, se poate scrie egalitatea

$$\Delta P_e t_c = \Delta P_n (t_l + \beta \cdot t_0),$$

din care rezultă

$$\Delta P_e = \Delta P_n \left(\frac{t_l + t_0}{t_c} \right). \qquad (6.56)$$

Deoarece $\frac{t_l + t_e}{t_e} = \frac{1}{DA'}$, relația (6.56) poate fi scrisă și sub forma simplificată

$$\Delta P_e = \frac{\Delta P_n}{DA'}. \tag{6.57}$$

Înlocuind în relația (6.56) valoarea lui t_0, rezultă numărul maxim de conectări pe oră

$$h = \frac{3\,600 \cdot \beta}{\left(\frac{\Delta P_e}{\Delta P_n} + \beta - 1\right) t_l}. \tag{6.58}$$

În relația (6.58) raportul pierderilor poate fi înlocuit conform relației (6.57) și se obține

$$h = \frac{3\,600 \cdot \beta}{\left(\frac{1}{DA'} + \beta - 1\right) t_l}. \tag{6.59}$$

Se constată că numărul admisibil de conectări pe oră depinde de durata perioadei de lucru t_l, de factorul de corecție și de durata relativă de conectare corectată DA'.

● La motoarele speciale construite pentru funcționare în regim intermitent, durata relativă de conectare DA_n, corespunzătoare sarcinii nominale P_n fiind indicată în catalog, se face o verificare a pierderilor echivalente pe baza duratei de conectare corectate DA'_A.

Pentru aceasta se va scrie egalitatea corespunzătoare pierderilor medii $\Delta P_{e_{max}} \cdot DA'_A = \Delta P_n DA_n$, din care se obține

$$\Delta P_{e_{max}} = \Delta P_n \frac{DA_n}{DA'}. \tag{6.60}$$

Se constată că la alegerea corectă a motorului, pierderile medii rezultate din calculul efectuat cu formula (6.42) trebuie să fie mai mici sau cel mult egale cu valoarea $\Delta P_{e_{max}}$.

În cazul folosirii motoarelor de curent continuu, determinarea puterii se poate face folosind formulele mărimilor echivalente (curent, cuplu, putere), fiind însă necesare corectarea diagramelor de sarcină și verificarea încălzirii de regim. Aceste considerații sînt valabile și pentru celelalte tipuri de motoare folosite la acționarea mașinilor-unelte, la care se pot folosi pentru calcul formulele mărimilor echivalente.

6.3.4. CALCULUL PUTERII MOTOARELOR FOLOSITE ÎN REGIM DE SCURTĂ DURATĂ

Regimul de funcționare de scurtă durată este caracteristic pentru unele lanțuri cinematice auxiliare ale mașinilor-unelte, și anume: lanțuri cinematice de deplasare rapidă, de reglare, de strîngere. Timpul de funcționare al motoarelor folosite pentru acționarea acestor lanțuri cinematice este mic în raport

cu perioadele de oprire care le urmează și în consecință, la începutul fiecărui ciclu, motorul are temperatura mediului, deoarece a avut timp suficient să se răcească complet de la încălzirea atinsă în lucru.

Încălzirea motoarelor în regim de funcționare de scurtă durată s-a analizat în subcapitolul 6.2, urmînd ca la alegerea lor, pe baza diagramei de sarcină, să se țină seama de aspectele semnalate.

Din diagrama de sarcină reprezentată în figura 6.11, se constată că alegerea motorului pentru acest regim de funcționare se poate realiza practic folosind motoare speciale sau motoare normale.

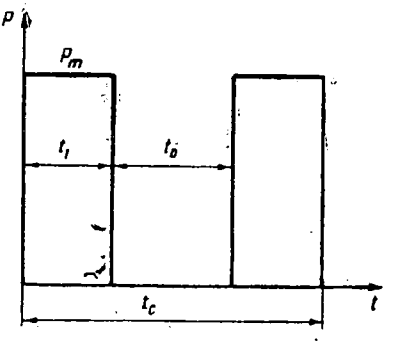


Fig. 6.11. Diagrama de încărcare în regim de scurtă durată.

Alegerea motoarelor pentru funcționare în regim de scurtă durată se face luînd în considerare numai încărcarea mecanică, fără a mai fi necesară verificarea încălzirii.

Pentru lanțurile cinematice ale mașinilor-unelte cărora le este specific acest regim de funcționare, calculul sarcinii mecanice se face luînd în considerare valoarea forțelor sau a cuplurilor rezistente și viteza sau turația organului acționat.

În cazul avansurilor rapide ale cărucioarelor, puterea necesară deplasării poate fi determinată folosind relația

$$P_m = \frac{\mu \cdot G \cdot v}{6\,120 \cdot \eta}\ [\text{kWs}], \tag{6.61}$$

în care: G reprezintă greutatea ansamblului căruciorului, în daN;
v — viteza de deplasare, în m/min;
η — randamentul lanțului cinematic (obișnuit 0,1...0,2);
μ — coeficientul de frecare în ghidaje.

Deoarece timpul t_l în care se realizează mișcările auxiliare ale organelor mașinii-unelte este limitat în majoritatea cazurilor la 10...15 s și numai la mașinile foarte grele ajunge la 1...1,5 min, iar duratele T normalizate pentru funcționarea motoarelor în regim de scurtă durată sînt 15; 30; 60 min, raportul $t_l/T \leqslant 0{,}1$. Rezultă că pentru acționarea lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte, motoarele pot funcționa supraîncărcate în limitele de suprasarcină admisă pentru tipul motorului ales.

În consecință, puterea nominală a motorului se stabilește cu relația

$$P_n = \frac{P_m}{\lambda} = \frac{\mu \cdot G \cdot v}{6\,120\eta \cdot \lambda}\ [\text{kWs}], \tag{6.62}$$

în care λ reprezintă coeficientul de suprasarcină

$$\lambda = P_{max,\ admisibil}/P_n = M_{max,\ admisibil}/M_n.$$

Valoarea coeficientului de suprasarcină λ depinde de tipul motorului și se stabilește conform celor menționate în capitolele 2 și 3.

Pe baza puterii calculate cu ajutorul formulei (6.62), se alege din cataloage motorul care are puterea nominală egală sau imediat superioară celei rezultate din calcul. După alegerea motorului este necesară o verificare a condițiilor de pornire, deoarece cuplul rezistent la pornire este mai mare decît cuplul rezistent în mișcare.

Calculul cuplului rezistent la pornire raportat la arborele motorului se face ținînd seama de coeficientul de frecare static μ_0, folosind relația

$$M_{rp} = \frac{975 G \mu_0 v}{6\,120 \cdot \eta \cdot n} \text{ [daN m]}, \tag{6.63}$$

în care $n = n_0(1 - \lambda_s)$ reprezintă turația corespunzătoare cuplului rezistent M_{rp} pe caracteristica mecanică a motorului ales.

Pentru o funcționare normală a ansamblului cinematic este necesar ca acest cuplu rezistent să fie mai mic decît cuplul de pornire al motorului ($M_{rp} < M_p$).

Cuplul rezistent la pornire poate fi determinat și pe baza cuplului rezistent M_r, corespunzător deplasării mecanismului acționat. În acest caz relația de calcul este

$$M_{rp} = M_r k_\mu \text{ [daN} \cdot \text{m]},$$

unde $k_\mu = \mu_0/\mu$ reprezintă raportul coeficienților de frecare statică și dinamică.

6.4. RANDAMENTUL MAȘINILOR-UNELTE

Pentru determinarea puterii motoarelor, o importanță deosebită o are cunoașterea randamentului lanțului cinematic acționat, în fiecare perioadă a ciclului de lucru. Aceasta reprezintă o condiție esențială pentru determinarea corectă a puterilor la arborele motorului și realizarea diagramelor de sarcină.

Randamentul lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte nu are o valoare constantă, fiind influențat de o serie de factori, dintre care o importanță mai mare o au pierderile prin frecare, viteza sau turația de lucru, calitatea prelucrării și a ansamblării pieselor componente, calitatea ungerii suprafețelor de frecare și numărul mecanismelor din ansamblul cinematic considerat.

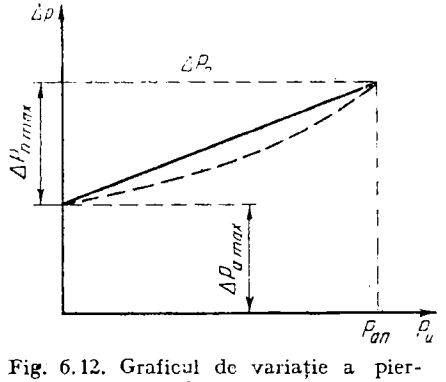


Fig. 6.12. Graficul de variație a pierderilor în ansamblul cinematic al mașinii-unelte.

O parte dintre acești factori nu depind de sarcină și, ca atare, pierderile rezultate sub influența lor pot fi considerate constante, iar alții se modifică odată cu încărcarea mașinii-unelte determinînd pierderile variabile. Factorii care nu depind de încărcarea mașinii-unelte sînt: turația, calitatea suprafețelor și asamblarea, calitatea ungerii și numărul mecanismelor. În schimb, forțele de frecare din lagăre și ghidaje variază cu sarcina conform relației $F_f = \mu \cdot F_a$, fiind aproximativ proporționale cu aceasta.

Pierderile din mașina-unealtă pot fi reprezentate printr-o diagramă corespunzătoare figurii 6.12, în care s-au notat în abscisă puterea de așchiere și în ordonată pierderile.

Acest grafic corespunde relației

$$\Delta P_m = \Delta P_{cm} + \Delta P_{vm}, \tag{6.64}$$

în care: ΔP_{cm} reprezintă pierderile constante echivalente pentru mersul în gol al mașinii;

ΔP_{vm} — pierderile variabile rezultate la încărcarea mașinii-unelte;

ΔP_m — pierderile totale în lanțul cinematic acționat.

În realitate, pierderile la funcționarea în gol a mecanismelor din ansamblul cinematic al mașinii-unelte nu sînt constante, deoarece condițiile tehnologice și de ungere se modifică permanent, iar puterea de mers în gol este proporțională cu turația. Astfel, de exemplu, calitatea suprafețelor prelucrate și condițiile de montaj se modifică în timpul funcționării, prin schimbările pe care le suferă microasperitățile și starea de tensionare a organelor mașinii. De asemenea, cantitatea și calitatea lubrifiantului nu rămîn aceleași în tot timpul exploatării, ceea ce determină variații ale coeficientului de frecare din lagăre, angrenaje și ghidaje. Pierderile de mers în gol se modifică și datorită schimbărilor pe care le comportă în lanțul cinematic reglarea turației cu ajutorul cutiilor de viteză sau de avans.

Influența modificării turației asupra puterii de mers în gol este deosebit de mare, deoarece, pentru o anumită valoare a cuplului rezistent dat de forțele de frecare, expresia puterii este

$$P_0 = \frac{M_r n}{975} \text{ [kW]}.$$

Această putere variază și mai mult cu turația dacă mașina-unealtă este prevăzută cu ungerea angrenajelor din cutiile de viteză și de avans, prin barbotare.

Aspectele menționate evidențiază relativitatea stabilității puterii de mers în gol a mașinii-unelte și prin urmare a pierderilor considerate constante. Din această cauză la proiectarea mașinilor-unelte, valorile puterii de mers în gol sînt necunoscute și apar dificultăți la stabilirea randamentului corespunzător funcționării la încărcări diferite.

Pentru rezolvarea problemei, în relația generală a randamentului

$$\eta = \frac{P_a}{P_a + \Delta P_m} = \frac{P_a}{P_a + \Delta P_{cm} + \Delta P_{vm}} \tag{6.65}$$

se consideră că pierderile sînt constante și întotdeauna egale cu valoarea lor la încărcarea mașinii-unelte cu puterea de așchiere maximă. În acest caz, notînd puterea maximă cu care poate fi încărcată mașina-unealtă prin P_{an} și pierderile totale corespunzătoare acestei încărcări cu ΔP_{nm}, se poate scrie egalitatea

$$\Delta P_{nm} = \Delta P_{cm} + \Delta P_{vm} = \frac{P_{an}}{\eta_{an}} - P_{an},$$

în care η_{an} reprezintă randamentul mașinii-unelte la sarcina maximă și se calculează conform celor arătate în paragraful 6.1.1.

Făcînd înlocuirile corespunzătoare în relația (6.65), expresia randamentului devine

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_{an}}{P_a}\left(\frac{1 - \eta_{an}}{\eta_{an}}\right)}. \tag{6.66}$$

Expresia (6.66) permite determinarea randamentului pentru oricare încărcare a mașinii-unelte în limitele $0 < P_a \leqslant P_{an}$. Randamentele obținute cu această formulă au valori puțin mai mici decît cele reale, ceea ce determină alegerea unor motoare cu putere mai mare decît cea necesară. Diferența de putere obținută nu depășește limitele acceptabile și asigură buna funcționare a motorului.

Folosind relația (6.66), determinarea puterilor la arborele motorului, pentru oricare diagramă de încărcare a mașinii-unelte, se face ușor pe baza sarcinii maxime și a randamentului corespunzător acesteia.

Considerațiile care au dus la stabilirea expresiei randamentului sînt justificate de faptul că pierderile la puterea de mers în gol reprezintă în majoritatea cazurilor o valoare $\Delta P_{cm} > \Delta P_{vm}$.

Deci, pierderile variabile chiar și la încărcarea maximă ($\Delta P_{vm \cdot max}$) reprezintă mai puțin de 50% din pierderile totale în lanțul cinematic al mașinii-unelte.

Luînd în considerare raportul obișnuit pentru exprimarea pierderii corespunzătoare puterii de mers în gol $\Delta P_{cm} = 0{,}6\ \Delta P_{vm} \geqslant 0{,}6\ \Delta P_{nm}$, ceea ce justifică aproximarea făcută considerînd

$$\Delta P_{cm} + \Delta P_{vm} = \Delta P_{nm}.$$

Aplicarea în practică a formulei (6.66) constă în determinarea randamentelor corespunzătoare fiecărei puteri din ciclul de lucru al mașinii-unelte sau în reprezentarea grafică a variației randamentului în funcție de variația încărcării (fig. 6.13).

Randamentele determinate prin calcul sau din diagrama specifică randamentului mașinii-unelte proiectate permit determinarea puterilor la arborele motorului pentru fiecare perioadă a ciclului de lucru, folosind relația

$$P_m = \frac{P_a}{\eta_{mu}} \text{ [kWs]}.$$

Calculînd puterile P_m la arborele motorului pentru fiecare valoare a puterii de așchiere P_a, se poate realiza diagrama de sarcină a motorului și folosirea ei la alegerea puterii lui.

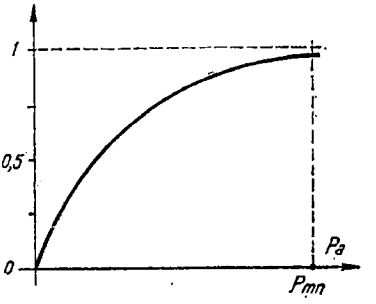


Fig. 6.13. Graficul de variație a randamentului mașinilor-unelte.

7

ELECTROMAGNEȚI, CUPLAJE ȘI DISPOZITIVE DE PRINDERE ELECTROMAGNETICE FOLOSITE LA MAȘINILE-UNELTE

7.1. GENERALITĂȚI

Alături de mașinile electrice folosite în antrenarea lanțurilor cinematice ale mașinii-unelte se găsesc și alte elemente care utilizează în funcționarea lor energia electrică. Aceste elemente contribuie direct sau mijlocit la funcționarea mașinii-unelte.

Din categoria celor care determină direct funcționarea mașinii-unelte fac parte toate aparatele de comandă și protecție și o serie de elemente de execuție, cum sînt electromagneții pentru acționarea robinetelor hidraulice și pneumatice, cuplajelor electromagnetice, frînelor, contactoarelor, releelor etc.

Elementele care nu contribuie în mod nemijlocit la funcționarea mașinii-unelte sînt aparatele și dispozitivele care se prevăd fie ca anexă (mese electromagnetice, sisteme de filtrare electrice, electromagnetice, centrifugale), fie ca dispozitive de măsură și control al funcționării corecte (instrumente de măsură, de control dimensional etc.).

Unul dintre elementele de acționare a mișcării rectilinii sau unghiulare a dispozitivelor amintite este electromagnetul. Construcția acestuia depinde în foarte mare măsură de destinația, de felul curentului electric de alimentare, de dimensiunile de gabarit impuse lui etc. În cele ce urmează se prezintă cîteva tipuri de electromagneți mai frecvent utilizați în construcția mașinilor-unelte.

7.2. ELECTROMAGNEȚI DE CURENT ALTERNATIV ȘI CONTINUU

Electromagneții sînt elemente de acționare care transformă energia electrică în energie mecanică, elemente destinate antrenării în mișcare de translație, mai rar de rotație, cu o cursă mică de deplasare (5...50 mm) și o forță de acționare relativ redusă (10...250 N). Electromagneții se utilizează în acționarea distribuitoarelor hidraulice și pneumatice, a contactoarelor, a frînelor și cuplajelor etc.

Principiul de funcționare al tuturor acestor electromagneți este același, ei diferențiindu-se mai ales prin forma lor.

Clasificarea electromagneților se poate face după mai multe criterii:

— după felul curentului electric electromagneții pot fi de curent continuu sau de curent alternativ (mono sau trifazat);

— după modul în care se deplasează armătura mobilă, aceștia pot fi cu mișcare de translație(rectilinie) sau cu mișcare de rotație;

— după tipul armăturii pot fi cu armătură interioară sau exterioară;

— după durata de funcționare pot fi electromagneți în serviciu de durată, intermitent sau de scurtă durată.

7.2.1. ELECTROMAGNEȚI DE CURENT ALTERNATIV

Un astfel de electromagnet se compune (fig. 7.1) din miezul fix *1* pe care se găsesc bobina *2* și spira în scurtcircuit *3*. Armătura mobilă *4* este piesa care asigură tracțiunea elementului comandat. După cum se vede din figura 7.1, *b*, forța dezvoltată de electromagnet nu este constantă, ea depinzînd de variația întrefierului. Electromagnetul se va calcula de așa manieră încît forța corespunzătoare unui anumit întrefier, δ_0, să fie suficientă pentru acționare. Din motive de siguranță acest întrefier va avea o valoare mai mare decît zero.

Valoarea instantanee a forței, plecînd de la formula lui Maxwell, se poate determina astfel

$$F_t = \frac{\Phi_t^2}{2\mu_0 \cdot S_0}. \tag{7.1}$$

Dacă fluxul variază sinusoidal (fig. 7.1, *c*)

$$\Phi_t = \Phi_M \sin \omega t, \tag{7.2}$$

atunci

$$F_t = \frac{\Phi_M^2 \cdot \sin^2 \omega t}{2\mu_0 \cdot \cdot S_0}.$$

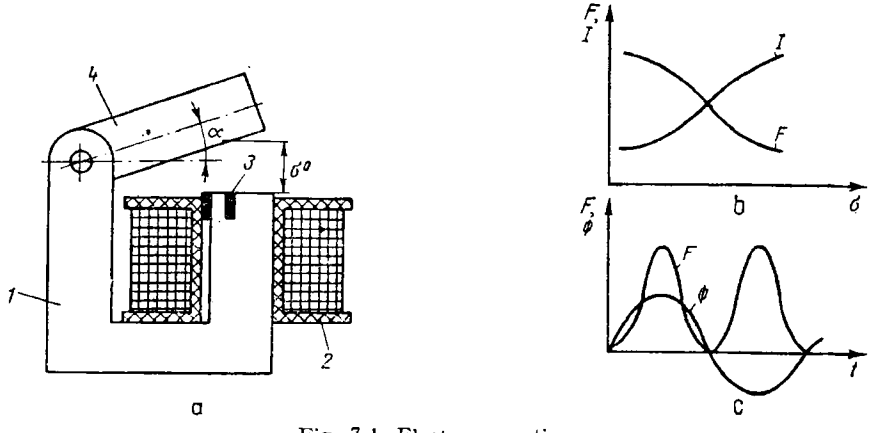


Fig. 7.1. Electromagneți:

a — schema constructivă; *b* — diagrama de variație a forței electromagnetului; *c* — diagrama de variație a fluxului.

Amplitudinea forței electromagnetice va fi

$$F_M = \frac{\Phi_M^2}{2\mu_0 \cdot S_0}$$

și astfel

$$F_t = F_M \sin^2 \omega t = \frac{F_M}{2}(1 - \cos 2\omega t). \tag{7.3}$$

Rezultă următoarele concluzii cu privire la forță:

— are mereu valoare pozitivă (atrage armătura liberă);

— are o pulsație egală cu dublul pulsației curentului care alimentează bobina.

Forța medie dezvoltată este jumătate din forța maximă, deoarece

$$F_0 = \frac{1}{T}\int_0^T F_M \sin^2 \omega t \, dt = \frac{F_M}{2}. \tag{7.4}$$

Mărimea forței medii poate fi determinată cu relațiile cunoscute astfel

$$F_0 = \frac{\Phi_M^2}{4\mu_0 S_0} = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S_0} = \frac{B^2 \cdot S_0}{2\mu_0}, \tag{7.5}$$

în care:

$$\Phi = \frac{\Phi_M}{\sqrt{2}}; \quad B = \frac{\Phi}{S_0}.$$

În relațiile de mai sus au fost folosite următoarele notații:

F_t, F_0, F_M — forța electromagnetică instantanee, medie și maximă, în N;

Φ_t, Φ, Φ_M — fluxul magnetic instantaneu, eficace, respectiv maxim din întrefierul principal, în Wb;

S_0 — secțiunea întrefierului principal δ_0, în m^2;

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ — permeabilitatea magnetică a întrefierului, în $\frac{Wb}{A \cdot m}$;

B — inducția magnetică eficace în întrefierul principal, în Wb/m^2;

$\omega = 2\pi f$ — pulsația curentului de alimentare, în Hz.

Cunoscîndu-se forța care urmează a fi transmisă și adoptîndu-se celelalte elemente se poate alege electromagnetul potrivit din normele întreprinderilor producătoare.

Electromagneții de curent alternativ se folosesc pentru acționarea distribuitoarelor, a frînelor contactoarelor și releelor. În figura 7.2 se prezintă schema de alimentare a unui electromagnet utilizat pentru frînarea arborelui motorului electric.

În prima schemă frînarea propriu-zisă este asigurată de către resortul *1*, care atrage sabotul *2* pe discul de frînă *3*. Atît timp cît motorul este cuplat la rețea, bobina electromagnetului este alimentată, iar sabotul ridicat de pe disc. În momentul deconectării motorului, bobina eliberează sabotul și acesta frînează instantaneu. Schema este avantajoasă doar în ceea ce privește simplitatea ei. Prezintă însă două dezavantaje importante:

— în stare deconectată motorul este frînat și de multe ori rotorul trebuie să se rotească liber în vederea reglării manuale a mașinii-unelte;

— bobina de acționare, dată fiind puterea relativ mare pe care trebuie să o dezvolte și faptul că este conectată atît timp cît motorul funcționează, consumă în mod inutil o cantitate mare de energie.

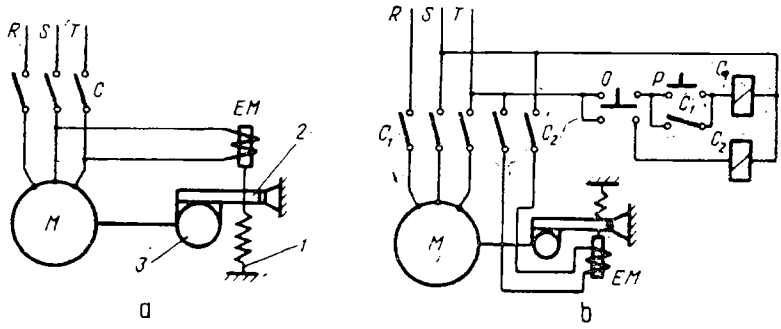


Fig. 7.2. Scheme de alimentare a electromagneților de curent alternativ utilizați la sistemele de frînare a unui motor:
a — electromagnetul eliberează frîna; *b* — electromagnetul produce frînarea.

Aceste dezavantaje sînt înlăturate în schema următoare.

La acționarea butonului de oprire *0* se deschide circuitul bobinei contactorului motorului și se închide cel al bobinei contactorului frînei. Electromagnetul va acționa sabotul *2* atît timp cît va fi apăsat butonul *0*.

Comanda electromagneților se poate face cu contactoare, ca în cazul descris, și cu butoane de comandă sau, în cazul schemelor de automatizare, cu microîntreruptoare și limitatoare de cursă.

Electromagneții de curent alternativ se caracterizează prin următoarele:

● Forță de acționare pulsatorie, deci forță medie mai mică decît forța maximă. Din această cauză trebuie luate măsuri de limitare a efectului pulsațiilor. O astfel de măsură este utilizarea spirelor în scurtcircuit plasate pe miez.

● Pentru a limita încălzirea miezului datorită curenților turbionari, acesta se confecționează sub forma unui pachet de tole din oțel electrotehnic. Din acest motiv electromagneții de curent alternativ sînt mai costisitori.

● Schemele de alimentare și comandă sînt simple deoarece se alimentează direct din rețea sau, cel mult, prin intermediul unui transformator coborîtor de tensiune.

Din analiza acestor caracteristici rezultă că electromagneții de curent alternativ se utilizează acolo unde nu se pun condiții speciale de constanță a forței de acționare sau unde efectul pulsatoriu al forței este necesar (de exemplu, în cazul sistemelor vibratorii de transport al pieselor mici).

7.2.2. ELECTROMAGNEȚI DE CURENT CONTINUU ȘI CUPLAJE ELECTROMAGNETICE

Comparativ cu electromagneții de curent alternativ, cei de curent continuu prezintă următoarele avantaje:

— forța dezvoltată este continuă (nu pulsatorie) și mai mare, aproximativ dublă în condiții similare (tensiune, curent);

— neexistînd curenți de inducție, miezul poate fi compact, deci pierderi prin inducție neglijabile;

— dimensiuni de gabarit mai mici pentru aceleași forțe dezvoltate.

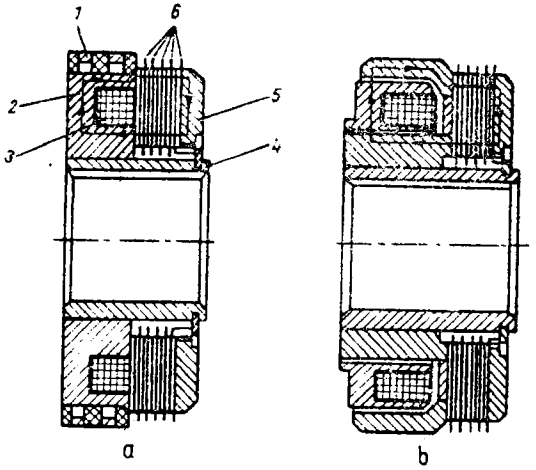


Fig. 7.3. Construcția unui cuplaj electromagnetic: *a* — cu inele colectoare; *b* — fără inele colectoare.

Electromagneții de curent continuu se utilizează în construcția cuplajelor electromagnetice, a dispozitivelor de prindere și în unele cazuri speciale, cum ar fi de exemplu construcția filtrelor electromagnetice cu excitație.

Cuplajele electromagnetice a căror construcție este prezentată în figura 7.3 sînt utilizate foarte frecvent în construcția mașinilor unelte moderne, cu comandă convențională sau după program, ca urmare a avantajului foarte mare pe care îl prezintă, și anume posibilitatea cuplării și decuplării de la distanță.

Din punctul de vedere al destinației, cuplajele electromagnetice pot fi: pentru comutarea vitezelor, cuplarea și decuplarea cutiilor de viteze și de avansuri la arborele de antrenare, pentru reversarea sensului de rotație sau pentru frînare. Acestea din urmă se caracterizează prin aceea că au o parte fixă, rigidizată la carcasa mașinii și anume aceea care are bobina, ceea ce permite alimentarea directă, fără inele colectoare.

O altă clasificare ține seama de viteza de acționare, deosebindu-se două tipuri, și anume: cu acționare normală și cu acționare rapidă.

Funcționarea cuplajelor electromagnetice este foarte simplă. La trecerea curentului electric de la inele prin bobina *3* liniile de cîmp magnetic se închid prin carcasa *2* și armătura mobilă *5*. Forța de atracție exercitată de către armătura mobilă asupra lamelelor *6* creează forța normală de frecare dintre cele două feluri de discuri de fricțiune, unele rigide la arbore prin bucșa *4* și altele la elementul antrenor prin carcasa *2*. Prin forța de frecare ce ia naștere se transmite momentul motor de la elementul antrenor la cel condus.

În prezent se construiesc cuplaje, pentru mașini-unelte, capabile să transmită cupluri între 0,25 și 160 daN · m. Întrucît frecarea și pierderile electrice dezvoltă o cantitate de căldură care determină încălzirea excesivă a cuplajului la unele construcții se prevăd aripioare de radiere a căldurii sau condiții de funcționare în ulei. Cuplajele electromagnetice cu acționare rapidă lucrează întotdeauna fără lichid de răcire. Ele nu se deosebesc constructiv de cele cu acționarea normală decît prin materialele de calitate superioară utilizate și prin faptul că regimul electric este întrucîtva forțat.

În afară de aceste tipuri de cuplaje cu fricțiune, în prezent se utilizează așa-numitele cuplaje cu pulberi magnetice (fig. 7.4). Acestea se compun din două semicuplaje *1*, *2* constituind cele două armături ale electromagnetului. Întrefierul este umplut cu o pastă magnetoconductoare *3* pe bază de praf de fier care, în momentul cînd apare un cîmp magnetic, constituie puntea de legătură între cele două semicuplaje. Cu cît cîmpul magnetic este mai puternic, cu atît rigidizarea celor două jumătăți este mai puternică. Există

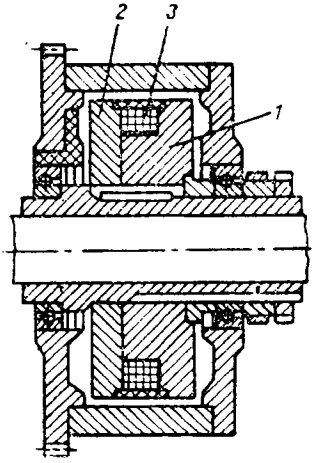


Fig. 7.4. Cuplaje cu pulberi magnetice.

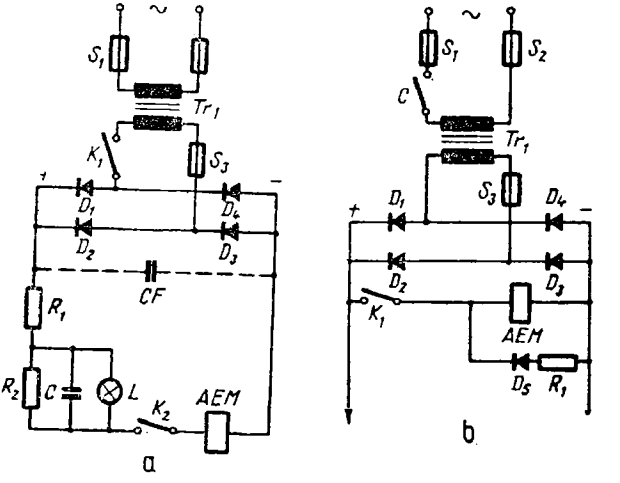


Fig. 7.5. Sisteme de alimentare a cuplajelor electromagnetice: *a* — conectarea unui electromagnet cu acționare rapidă; *b* — conectarea unui cuplaj cu acționare normală.

deci posibilitatea de control asupra momentului transmis prin reglarea cîmpului magnetic. Drept pulbere magnetoconductoare este utilizat fierul sub formă de granule de 4...10 μm la un conținut volumic în pastă în jur de 0,3...0,45.

Alimentarea cuplajelor electromagnetice se face, după cum s-a arătat, de la o sursă de curent continuu. În figura 7.5, *a* se arată modul de conectare a cuplajului electromagnetic cu acționare rapidă. Cele două rezistoare cuplate în serie asigură curentul nominal, de durată, al cuplajului magnetic. În momentul inițial acesta are însă nevoie de un curent mai mare, pentru a grăbi acționarea. Adaosul față de curentul nominal este dat de curentul de încărcare a condensatorului (în momentul conectării lui *K*2) care scade apoi exponențial, pe măsura încărcării sale. Odată încărcat condensatorul *C*, în circuit se stabilește curentul nominal determinat de rezistoarele *R*1, *R*2 și rezistența ohmică a înfășurării cuplajului. Valoarea adaosului de curent, precum și durata acestuia se reglează prin modificarea capacității condensatorului *C*.

În schema din figura 7.5, *b* se arată conectarea cuplajului cu acțiune normală. În această schemă lipsesc rezistoarele de reglare a curentului nominal precum și condensatorul *C*.

În momentul deconectării bruște a bobinei cuplajului are loc o variație rapidă a fluxului magnetic și, ca urmare a acestui fapt, se va induce o tensiune electromotoare (de autoinducție) în spirele bobinei. Acest impuls invers de tensiune este foarte mare, existînd pericolul străpungerii izolației. În vederea evitării acestui lucru, s-a legat, în paralel cu bobina cuplajului, rezistorul de descărcare *R*1. Pentru ca în timpul alimentării normale să nu se producă pierderi inutile de energie pe rezistorul *R*1, în serie cu acesta s-a prevăzut dioda *D*5. Dioda oprește trecerea curentului electric prin rezistorul *R*1 cînd este închis *K*1.

Alimentarea cuplajelor electromagnetice se poate face individual sau de la o sursă comună. În primul caz se poate face deconectarea acestuia prin deconectarea transformatorului de la rețea, lucru care elimină pierderile funcționale în gol.

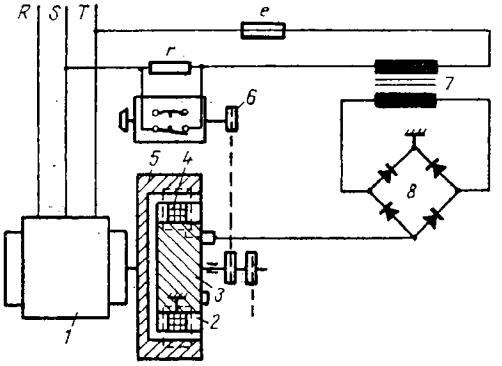


Fig. 7.6. Cuplaje de alunecare.

În afară de cuplajele amintite anterior, în prezent se studiază, în vederea utilizării, cuplajele cu alunecare (fig. 7.6). Elementul condus *3* nu este legat mecanic, în timpul cuplării, de elementul *5* antrenat de motorul *1*, ci prin intermediul cîmpului magnetic creat de înfășurarea *4*. În acest mod, în funcție de momentul rezistent, are loc o antrenare a elementului condus, realizîndu-se raporturi de transmitere de 1/6...1/8.

În cazul în care se utilizează o reacție pozitivă (regulatorul centrifugal *6*) care să mărească cîmpul magnetic proporțional cu sarcina, stabilitatea sistemului crește, iar raportul de transmitere poate fi micșorat pînă la 1 : 50. În același timp randamentul mecanic scade foarte mult.

7.3. DISPOZITIVE ELECTROMAGNETICE DE PRINDERE

Unul din dispozitivele cele mai răspîndite la prinderea pieselor de prelucrat pe mașini de rectificat plan sau rotund este masa electromagnetică. Principalul avantaj este precizia mare de așezare ca urmare a faptului că suprafața de așezare este, în același timp, și de prindere, ceea ce duce la eliminarea unor erori importante. Alte avantaje, ca deservirea simplă, rigiditatea mare, universalitatea, posibilitatea ușoară de comandă automată fac ca masa electromagnetică să se utilizeze tot mai mult în ultima vreme chiar și la operații de frezare. Dintre dezavantajele cele mai importante trebuie amintite următoarele: forța de strîngere relativ mică (față de dimensiunile dispozitivului), pericol de distrugere a piesei și chiar a sculei la întreruperea alimentării bobinei electromagnetului și, în fine, faptul că nu pot fi fixate decît piese din aliaje feromagnetice.

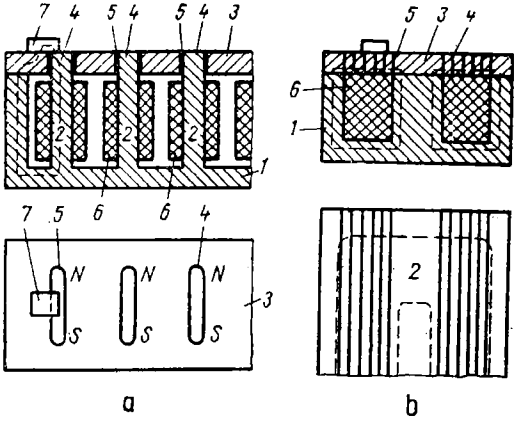


Fig. 7.7. Dispozitive de prindere electromagnetice:
a — masă electromagnetică; *b* — forma polilor unui platou electromagnetic.

Un alt fenomen neplăcut este magnetismul remanent care apare în cazul pieselor din oțel călit, situație în care trebuie luate măsuri speciale pentru demagnetizarea lor.

Schematic, construcția unei mese electromagnetice este arătată în figura 7.7, *a*. Aceasta se compune dintr-un corp în care se găsesc bobinele *6* pe miezurile *2*. Circuitul magnetic este închis de

capacul *3*. În acesta sînt prelucrate degajări în care pătrund miezurile bobinelor. Spațiul dintre miezurile bobinelor și capac formează întrefierul *5*. Pentru a împiedica pătrunderea lichidului de răcire, sau a oricărui corp străin, în interiorul mesei electromagnetice (deci pentru protecția întrefierului și a bobinelor), spațiul întrefierului este umplut cu un aliaj care are permeabilitatea magnetică relativă apropiată de cea a aerului (de exemplu, alamă). Bobinele se vor alimenta în așa fel încît miezurile *2* vor constitui același pol (ex. polul *S*). Evident, polul opus va fi capacul *3*. În momentul în care piesa *7* este așezată pe capacul *3*, ca în figură, liniile cîmpului magnetic se vor închide prin ea deoarece are reluctanța (rezistența magnetică) mai mică decît a întrefierului. În general, cu cît vor fi acoperite mai multe perechi de poli de către piesă, forța de prindere va fi mai mare.

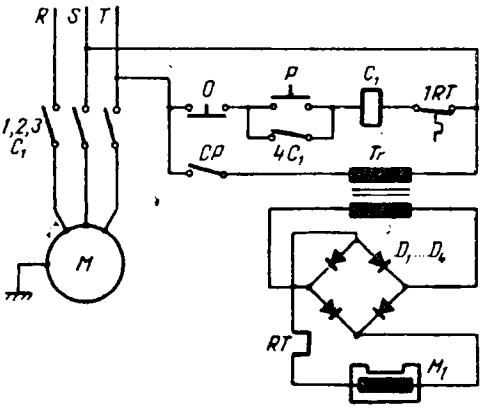


Fig. 7.8. Scheme de alimentare a unui dispozitiv de prindere.

În figura 7.7, *b* se arată forma polilor unui platou electromagnetic utilizat pentru mașinile de rectificat, așa-zise „cu papuci", destinate prelucrării inelelor de rulmenți.

Alimentarea platourilor electromagnetice se face cu curent continuu la tensiunea de 24, 48, 110 sau 220 V, cea mai des utilizată fiind cea de 110 V. Puterea absorbită este de circa 100...300 W. Bobinele platoului electromagnetic sînt de regulă legate în serie, mai rar serie-paralel, pentru două tensiuni.

Drept sursă de curent continuu se folosește un redresor cu tuburi sau cu semiconductoare, legat la un transformator coborîtor de tensiune. Cuplarea mașinii-unelte pe care este montat platoul electromagnetic este posibilă, printr-un sistem de blocaj electric, numai după ce platoul a fost conectat la sursă. O astfel de schemă de alimentare este prezentată în figura 7.8.

8

APARATAJUL ELECTRIC AL MAȘINILOR-UNELTE

8.1. GENERALITĂȚI. CLASIFICARE

În conformitate cu prescripțiile prevăzute de standardele actuale, aparatele electrice folosite în diversele instalații electrice pot fi de joasă tensiune (pînă la tensiunea rețelei de 1 000 V) și de înaltă tensiune (peste 1 000 V).

Aparatajul utilizat la întocmirea schemelor de comandă și acționări face parte din prima categorie și se clasifică după mai multe criterii, ca de exemplu:

a) după felul curentului de alimentare a circuitului în care acestea sînt montate:

— aparate de curent continuu;
— aparate de curent alternativ;
— aparate care pot funcționa în curent continuu sau alternativ;

b) după numărul circuitelor pe care le stabilesc:

— aparate monopolare;
— aparate bipolare;
— aparate tripolare;
— aparate multipolare;

c) după modul de stingere a arcului electric:

— fără sisteme de stingere;
— cu sisteme de stingere;
— combinate;

d) după modul de acționare și comandă a lor:

— acționate manual, nemijlocit de către operator;
— acționate mecanic, cu comandă de la distanță.

Cele mai răspîndite aparate sînt: separatoarele, întreruptoarele, contactoarele, releele de acționare și protecție, siguranțele fuzibile, prizele și fișele industriale etc. Aceste aparate nu sînt în mod special destinate mașinilor-unelte, ele putînd fi utilizate atît în cazul acționării acestora cît și în instalațiile de uz general.

După cum s-a arătat în capitolul 1, aparatele se reprezintă fie codificat, fie cu simboluri, în conformitate cu standardele care reglementează acest

lucru. O particularitate în reprezentare o au aparatele cu comandă de la distanță. Astfel, cînd se reprezintă principiul lor de funcționare, ca de exemplu în instrucțiunile de utilizare, toate elementele componente ale aparatelor în discuție se indică în aceeași schemă.

Dacă aparatul intră în componența unei scheme de acționare, atunci elementele lui sînt prezentate în locuri diferite. De exemplu, în figura 8.1 contactele de forță ale contactorului *c* sînt prezentate în circuitul de alimentare a motorului, pe cîtă vreme contactele lui auxiliare (normal închise și normal deschise) ca și bobina sa, în circuitul de comandă. Simbolizarea aparatelor se face conform prescripțiilor prevăzute de standardele în vigoare (STAS 1590 71).

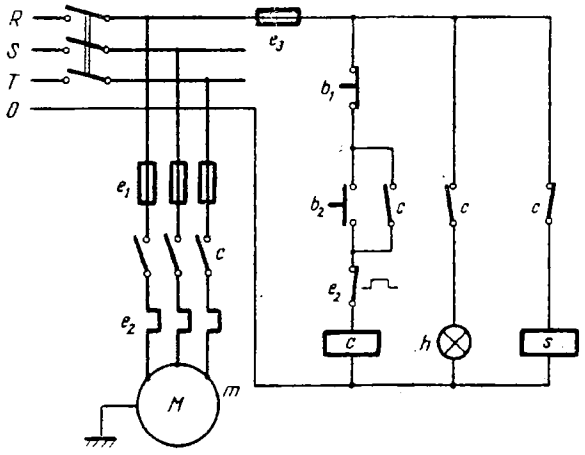


Fig. 8.1. Schemă de utilizare și reprezentare a unui contactor.

8.2. CARACTERISTICILE ELECTROMECANICE NOMINALE ȘI DE SERVICIU. TIPURI DE PROTECȚII

Funcționarea aparatelor electrice este posibilă numai la valoarea parametrilor electrici și mecanici pentru care au fost construite. Modificarea unuia sau altuia dintre acești parametri conduce la adoptarea unor aparate cu alte caracteristici electrice și constructive. De exemplu, valoarea intensității curentului influențează uzura contactelor prin arcul care ia naștere între contacte la deschiderea acestora (deschiderea circuitului). Acest lucru va condiționa viteza de acționare a contactului mobil și modul de stingere a arcului format. Rezultă că funcționarea aparatului poate avea loc numai la valoarea pentru care a fost construit sau la valori mai mici. Valorile din prima categorie, adică cele pentru care au fost calculate aparatele, se numesc *valori nominale*, celelalte, mai mici sau egale cu cele nominale, *valori de serviciu*. Pentru a se evita însă construirea unei varietăți prea mari de aparate în funcție de valorile necesare s-a normalizat o serie de valori în STAS 553-73.

Cele mai importante caracteristici sînt:

a. Tensiunea nominală este tensiunea la care este posibilă funcționarea aparatului (bobine, electromagneți) sau tensiunea maximă a rețelei la care funcționarea are loc fără pericol de distrugere a aparatului. Această condiție determină materialele izolante, distanța între contacte etc. Din acest punct de vedere aparatele vor putea lucra și la tensiuni mai mici, adică la tensiuni de serviciu.

Valorile tensiunilor nominale sînt:

— curent continuu: 24; 48; 110 (125); 220 (250); 440; 600; 800 (750); 1200 V;

— curent alternativ: 24; 36; 48; (42); 110 (127); 220 (250); 380; 660; (500); 1000 V.

b. Curentul nominal reprezintă valoarea intensității curentului care poate trece prin aparat timp îndelungat fără deteriorarea acestuia, sau pentru care funcționarea aparatului este optimă (cazul bobinelor de acționare etc.). Intensitatea curentului determină secțiunea conductoarelor, a contactelor, ca și materialul lor, deci implicit dimensiunile de gabarit ale elementelor aparatului. Din această cauză utilizarea aparatului la intensități de serviciu cu mult mai mici decît valoarea nominală este irațională. În standardele 553—73 și 4297—66 se stabilesc următoarele valori ale intensităților pentru care se construiesc aparatele: 6; 10; 16; 32; 40; 63; 80; 100; 160; 200; 250; 315; 400; 630; 1 000; 1 600; 2 000; 2 500; 3 150 A.

În general aparatele admit o suprasarcină care este limitată valoric (și în timp) de condițiile de răcire. Această suprasarcină se numește curent limită termic și se referă la o durată de o secundă.

c. Rezistența la uzură mecanică este o caracteristică pur mecanică și determină numărul de manevrări pentru care funcționarea este garantată, deci și timpul după care un aparat va trebui să fie înlocuit. Rezistența mecanică este indicată sub forma numărului de cicluri sau manevrări (conectat-deconectat). Această caracteristică este indicată pentru o serie de aparate, după cum urmează:

— întreruptoare și comutatoare rotative	20 000 cicluri;
— întreruptoare pachet	10 000 cicluri;
— prize și fișe industriale	1 000 cicluri;
— comutatoare stea-triunghi manuale	10 000 cicluri;
— contactoare electromagnetice	1 000 000...10 000 000 cicluri.

d. Frecvența de conectare reprezintă numărul maxim posibil de manevrări la tensiunea și intensitatea nominală, în unitatea de timp (ora). Aparatele sînt împărțite în cinci clase, după cum urmează:

clasa I — pînă la 30 acționări pe oră;
clasa II — pînă la 150 acționări pe oră;
clasa III — pînă la 600 acționări pe oră;
clasa IV — pînă la 1 200 acționări pe oră;
clasa V — pînă la 3 000 acționări pe oră.

e. Durata de funcționare reprezintă timpul, exprimat în procente, din durata totală a unui ciclu de lucru al mașinii în care aparatul se găsește sub tensiune. Această durată condiționează încălzirea aparatului. Sînt normalizate următoarele durate: 15%; 25%; 40%; 60% și 100%. Din punctul de vedere al duratei de conectare deosebim trei servicii de funcționare:

— serviciul de scurtă durată (temporar), corespunzător conectării pentru scurt timp și deconectării îndelungate (exemplu: reostate de pornire, butoane de comandă etc.);

— serviciul intermitent (conectări și deconectări frecvente);

— serviciul de durată, cînd aparatul rămîne vreme îndelungată conectat (separatoare, siguranțe etc.).

f. Capacitatea de rupere reprezintă valoarea maximă (eficace) a curentului pe care îl poate întrerupe aparatul fără a se deteriora. Ea poate fi egală cu zero (separatoare), egală cu curentul nominal (întreruptoare cu pîrghie) sau mai mare decît curentul nominal.

g. Capacitatea de închidere este curentul maxim care se poate stabili prin aparat. Întrucît majoritatea consumatorilor de curent electric absorb la pornire un curent mare, aparatele vor trebui să suporte curenți de scurtă durată mai mari. Din acest punct de vedere aparatele pot fi cu capacitate de închidere mai mică, egală, sau mai mare decît curentul nominal. În general, capacitatea de închidere este mai mare decît cea de rupere.

● Prin *protecție*, în cazul aparatelor electrice, înțelegem gradul de siguranță împotriva pătrunderii corpurilor străine sau a apei în interiorul lor. Acest lucru se menționează printr-un indicativ format din literele I.P. urmate de trei cifre: prima se referă la protecția contra atingerilor pieselor sub tensiune, a doua la protecția contra pătrunderii apei, iar a treia la protecția împotriva deteriorărilor mecanice.

În cazul în care utilajul prezintă protecție specială (de exemplu antiexploziv), se face o mențiune în acest sens. Dacă unele părți ale aparatului, sau ale mașinii electrice se execută la un alt grad de protecție, se indică mai întîi gradul de protecție pentru întregul ansamblu urmat de gradul de protecție pentru partea diferit protejată, menționîndu-se și organul la care se referă această indicație. De exemplu: I.P. 11 — bornele I.P. 22.

Cea de-a treia cifră se indică doar în cazul aparatelor electrice (de exemplu I.P. 332).

Indicația referitoare la gradul de protecție se plasează la loc vizibil, de regulă pe plăcuța indicatoare, alături de alte caracteristici ale aparatului respectiv. Gradele de protecție, conform standardului STAS 5325-70, sînt redate în tabelele 8.1, referitor la protecția împotriva atingerii pieselor aflate sub tensiune și împotriva pătrunderii corpurilor străine, și 8.2, referitor la protecția împotriva pătrunderii lichidelor. În STAS 5325-70 sînt date și cele mai utilizate grade de protecție împotriva atingerii și pătrunderii corpurilor străine și a apei, precum și tabelul cu gradele de protecție împotriva deteriorărilor mecanice (numai pentru aparate electrice).

8.3. APARATE PENTRU CONECTARE ȘI COMANDĂ

Aparatele electrice pentru conectare și comandă pot fi acționate în mod nemijlocit de către operator (acționare manuală), sau de la distanță, prin intermediul altor aparate.

8.3.1. APARATE DE COMANDĂ ACȚIONATE MANUAL

Din această categorie fac parte aparatele care sînt acționate în mod nemijlocit de către operator, fără sisteme sau mecanisme intermediare de transmitere a comenzii. Aceste aparate sînt: separatoarele, întreruptoarele cu pîrghie, întreruptoarele și comutatoarele pachet, întreruptoarele și comutatoarele cu came, butoanele de comandă etc.

Tabelul 8.1

Gradele de protecție împotriva atingerii pieselor sub tensiune și a pătrunderii corpurilor străine

Simbol	Protecția contra atingerilor	Protecția contra pătrunderii corpurilor străine
0	Fără protecție	Fără protecție
1	Protecția împotriva atingerii cu o suprafață mare a mîinii	Fără protecție pentru corpuri străine mari (sub 50 mm)
2	Protecția la atingerea cu degete	Idem pentru mijlocii (sub 12 mm)
3	Protecția contra atingerii cu unelte peste 2,5 mm	Fără protecție la corpuri sub 2,5 mm
4	Protecția contra atingerii cu obiecte peste 1 mm	Fără protecție contra corpurilor sub 1 mm
5	Protecția contra atingerii cu orice fel de mijloace	Protecție parțială contra prafului
6	Idem	Protecție totală contra prafului

Tabelul 8.2

Gradele de protecție contra pătrunderii lichidelor

Simbol	Gradul de protecție
0	Fără protecție
1	Protecția contra picăturilor de apă condensată
2	Protecția contra picăturilor de lichide ce cad sub un unghi de maxim 15° față de verticală
3	Protecția contra ploii
4	Protecția contra stropirii cu lichide
5	Protecția contra apei sub formă de jet
6	Protecția împotriva condițiilor de pe puntea navelor
7	Protecția împotriva scufundării în lichid
8	Protecția împotriva scufundării în apă sub presiune

Întreruptorul este un aparat destinat închiderii și deschiderii unui circuit electric străbătut de curent. El are două poziții de funcționare: în circuit închis și în circuit deschis.

Comutatorul este un aparat care are rolul de a înlocui o porțiune de circuit cu alta sau de a modifica, în mod succesiv, conexiunile unuia sau mai multor circuite. El poate avea mai multe poziții de funcționare.

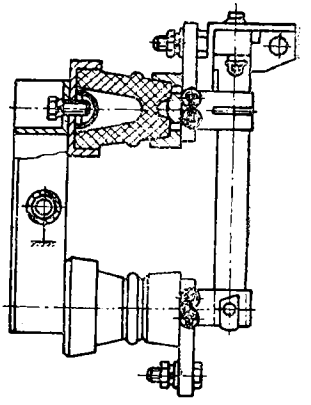


Fig. 8.2. Construcția unui separator.

8.3.1.1. SEPARATOARE

Separatoarele sînt aparate care închid sau deschid un circuit, stare care trebuie să fie foarte bine evidențiată. Caracteristicile principale sînt:

● Serviciul de funcționare este de durată. De aceea, pentru a asigura un contact bun, presiunea pe contacte trebuie să fie mare iar materialul să nu oxideze, lucru care ar putea duce la întreruperea continuității circuitului sau la mărirea rezistenței de contact și implicit la încălziri locale.

● Capacitatea de rupere este zero, deci nu se vor utiliza pentru decuplări în sarcină (nu se prevăd sisteme de stingere a arcului electric).

Construcția unui separator este reprezentată în figura 8.2. Rezultă din figură că nu numai construcția este simplă, dar și manevrarea lui.

După cum s-a arătat, o atenție deosebită trebuie acordată contactelor. În vederea înlăturării oxidării, acestea se confecționează din cupru argintat, în strat gros. În figura 8.3 sînt redate trei tipuri de contacte fixe între care se introduce lamela mobilă (contactul mobil). Se observă că în toate cazurile presiunea de contact necesară este asigurată de resorturi de diferite tipuri. Caracteristicile electromecanice ale separatoarelor fabricate în țara noastră sînt:

— tensiunea nominală: 500 și 1 000 V;
— curentul nominal: 200, 315; 630; 1 000 A;
— rezistența la uzură mecanică: 1 000 cicluri;
— acționarea: manuală (de obicei cu prăjină izolatoare);
— durata de conectare: 100%.

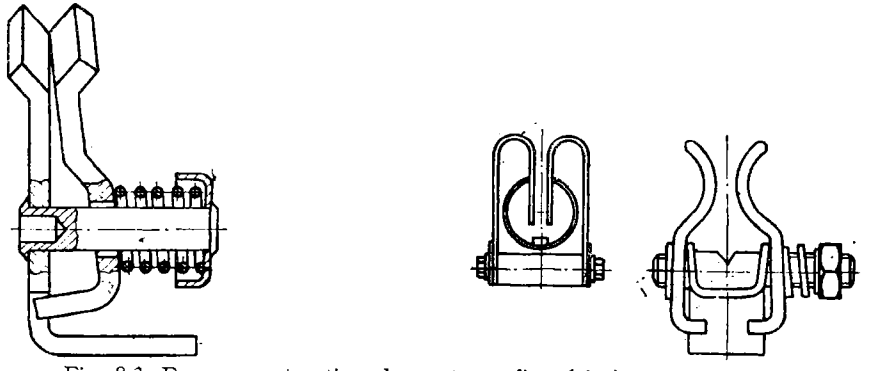


Fig. 8.3. Forme constructive de contacte fixe folosite la separatoare.

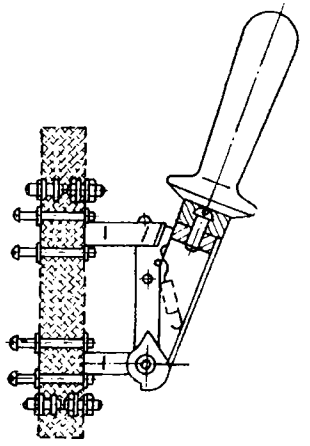


Fig. 8.4. Întreruptor cu pîrghie.

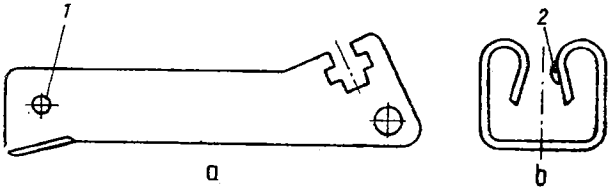


Fig. 8.5. Contactele întreruptorului cu pîrghie:
a — contact fix; *b* — contact mobil.

8.3.1.2. ÎNTRERUPTOARE CU PÎRGHIE

Întreruptoarele cu pîrghie (fig. 8.4) se aseamănă constructiv cu separatoarele, fiind acționate prin intermediul unui mîner montat central sau lateral față de contactele mobile. Pentru întreruperea în timp scurt a arcului electric, întreruptoarele cu pîrghie sînt prevăzute cu dispozitive de deplasare rapidă a contactelor mobile. În poziția „închis" contactul mobil (fig. 8.5, *a*) trebuie să fie cu degajarea *1* în dreptul protuberanței *2* a contactului fix (fig. 8.5, *b*). În același timp arcul piesei de antrenare este întins, astfel încît, după ieșirea din contactul fix, contactul este antrenat cu viteză suficient de mare pentru ca arcul electric să dispară rapid.

În prezent întreruptoarele cu pîrghie sînt puțin utilizate ca elemente de conectare pentru mașinile unelte. În schimb ele sînt mult folosite atît în industrie cît și în instalațiile semiindustriale la acționarea motoarelor mici din ateliere (polizoare, mașini mici de găurit etc.). Pentru a se înlătura pericolul arsurilor, acestea sînt capsulate în cutii din bachelită sau azbociment.

Un astfel de aparat capsulat în cutie din bachelită se poate vedea în figura 8.6. Pentru curenți mai mari de 63 A, acționarea lor se face din exte-

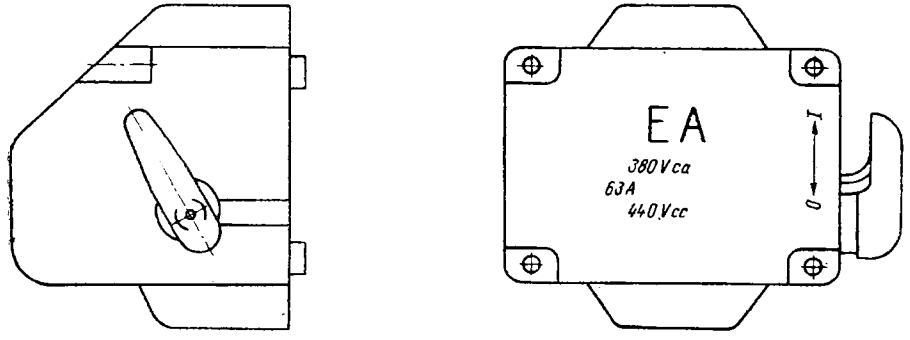


Fig. 8.6. Întreruptor capsulat.

riorul cutiei de distribuție sau a panoului electric, printr-un sistem de pîrghii. Camerele de stingere ale acestor întreruptoare conțin plăci din materiale magnetice pentru autosuflajul arcului electric. Datorită măsurilor luate, întreruptoarele cu pîrghie au o capacitate de rupere relativ ridicată.

Ca o măsură de protecție împotriva electrocutării, conductoarele rețelei se leagă la contactele fixe, nu la cele mobile (fig. 8.7). Caracteristicile electromecanice ale întreruptoarelor cu pîrghie sînt (STAS 2425-75):

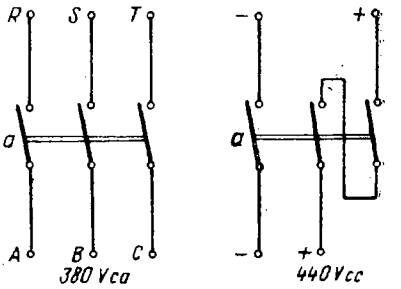


Fig. 8.7. Scheme de montare a întreruptoarelor în circuitele electrice.

— tensiunea nominală: 380 și 500 V c.a, 220 și 440 Vc.c.;
— curentul nominal: 25; 63; 100; 200; 315; 400; 630; 1 000 A;
— rezistența la uzură mecanică: pînă la 63 A — 10 000 cicluri;
pînă la 250 A — 3 000 cicluri;
pînă la 800 A — 1 000 cicluri;
peste 800 A — 300 cicluri;
— durata de conectare: 100%;
— frecvența de conectare: o manevrare pe oră;
— capacitatea de rupere: mai mică decît curentul nominal I_n.

8.3.1.3. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE PACHET

Utilizarea lor este foarte răspîndită din cauza simplității constructive, de montaj și exploatare. Alte avantaje pe care le prezintă sînt: capacitatea de rupere relativ mare într-un gabarit mic, rezistență la vibrații și șocuri, posibilitatea funcționării în orice poziție, durată de viață mecanică ridicată, capsulare simplă și, în fine, gama largă de posibilități de utilizare date fiind variantele de combinare a contactelor fixe și mobile.

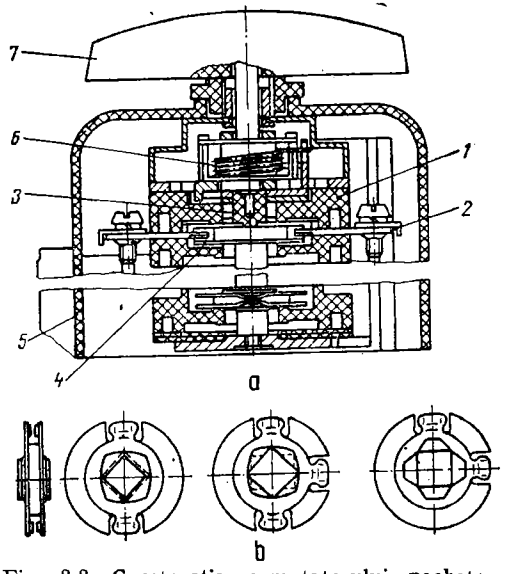


Fig. 8.8. Construcția comutatorului pachet: *a* — ansamblu; *b* — contactele mobile.

Întreruptoarele (comutatoarele) pachet sînt construite (fig. 8.8) din discurile de bachelită *1* între care se montează contactele fixe *2*. Axul izolant *3* antrenează în mișcare de rotație contactele mobile *4* prin intermediul unui sistem de sacadare *6* care asigură atît indexarea contactelor mobile cît și viteza mare de intrare-ieșire dintre contactele fixe. Legătura dintre ax și buton făcîndu-se prin acest sistem de sa-

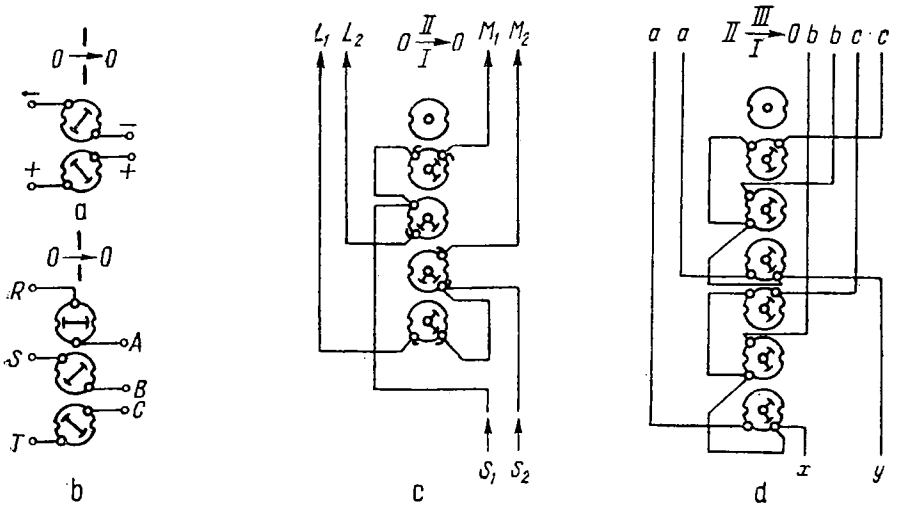


Fig. 8.9. Scheme de conectare a comutatoarelor:
a — cu două contacte mobile; *b* — cu trei contacte mobile; *c* — cu cinci contacte mobile; *d* — cu şapte contacte mobile.

cadare, viteza de rotire a contactelor mobile este aceeaşi pentru orice viteză de rotire a butonului 7.

Prin etajarea mai multor perechi de contacte fixe şi mobile, precum şi prin utilizarea diferitelor tipuri de contacte (fig. 8.8,*b*) se pot realiza scheme foarte variate de conectare (fig. 8.9).

Caracteristicile electromecanice ale întreruptoarelor pachet sînt (STAS 5414-74):

— tensiunea nominală: 380 şi 500 V c.a. şi 220 V c.c.,
— curentul nominal: 10; 25; 63 A,
— rezistenţa la uzură mecanică: 10 000 cicluri,
— capacitatea de rupere: 6 $\times I_n$ pentru cele de 10 A, 1,25 $\times I_n$ pentru cele de 25 şi 63 A.

În figura 8.10 sînt prezentate cîteva tipuri de întreruptoare pachet de diferite construcţii.

Întreruptoarele şi comutatoarele pachet în construcţie normală sînt folosite în instalaţiile electrice pentru alimentarea cu energie electrică a agregatelor industriale, a instalaţiilor electrice de iluminat, iar cele etanşe la instalaţiile electrice industriale în medii cu pericol de umiditate etc.

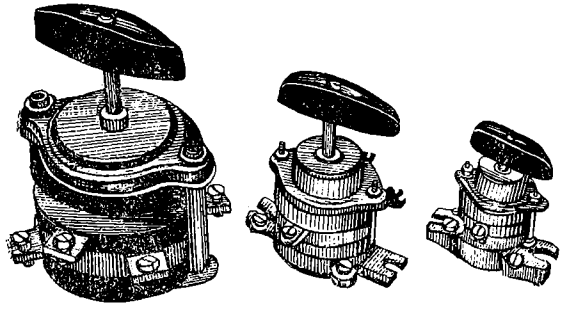


Fig. 8.10. Forme de comutatoare pachet.

Există şi întreruptoare speciale, cum sînt cele folosite la instalaţii electrice cu tensiune pînă la 500 V şi curenţi pînă la 6 A la maşinile,

de frezat verticale FV-1, în panoul instalației electrice pentru strung etc.

Aceste aparate sînt înlocuite din ce în ce mai mult cu aparatele descrise în continuare.

8.3.1.4. COMUTATOARE CU CAME

Comutatoarele cu came se utilizează în prezent tot mai mult în diferite scheme electrice (de acționare, de automatizare etc.), pentru închiderea, deschiderea sau comutarea unor circuite. Acest lucru se datorește gamei foarte largi de posibilități de realizare a diverselor scheme electrice.

Un astfel de comutator are, în esență, următoarele trei părți distincte (fig. 8.11):

● Dispozitivul de sacadare *12*, care permite trecerea camelor de pe o poziție pe alta. În acest fel se realizează atît pozițiile ferme de sacadare cît și pozițiile cu revenire. Aceste poziții sînt la 45, 60 sau 90°, numărul lor variind între 2 și 6. Numărul de poziții este determinat de un dispozitiv aflat sub capacul *13*.

● Plăcile de etaj *11*, pe care sînt montate cele patru perechi de contacte *5* (4 contacte fixe și 4 contacte mobile), sînt dispuse una peste alta, numărul lor diferind de la un tip sau altul de comutatoare. În interiorul fiecărei plăci de etaj se află o camă, cu un anumit profil, prin rotirea căreia se acționează contactele mobile. Numărul de etaje, ca și profilurile camelor, determină gama foarte largă de posibilități de realizare a schemelor electrice.

● Mînerul *1*, fixat pe axul comutatorului, acționează, prin intermediul acestuia, camele de diverse profiluri. Plăcile frontale *2* și *3*, cele intermediare *6*, placa de capăt *9*, împreună cu plăcile de etaj *11*, sistemul și capacul sistemului de sacadare *13* sînt fixate prin intermediul a două șuruburi speciale *7*. Placa izolantă *8* este fixată cu ajutorul unor pene din material plastic. Conductoarele de legătură se fixează la bornele *10*.

Fiecare comutator cu came are un simbol ce se găsește trecut pe eticheta *4*. Acesta este alcătuit din litera *C* după care urmează patru grupuri de două sau trei cifre, astfel încît simbolul apare sub forma: *C. a. b. c. d* (ex.: C.25.04.30.001). Primul grup de cifre, *a*, indică valoarea curentului nominal (în exemplu, 25 A). Al doilea grup de cifre, *b*, indică numărul de etaje (în exemplu, 4 etaje). Al treilea grup de cifre, *c*, indică numărul de poziții ferme și/sau cu revenire, astfel:

— prima cifră din grup se referă la pozițiile ferme (în exemplu, 3 poziții ferme);

— a doua cifră din grup se referă la pozițiile cu revenire (în exemplu, fără poziții cu revenire).

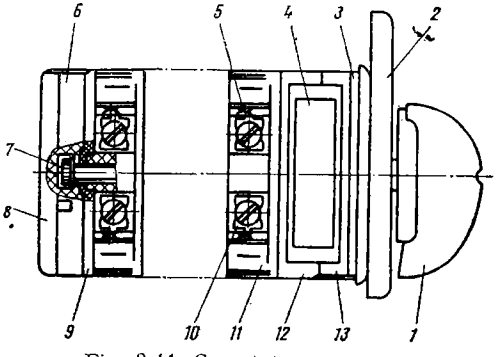


Fig. 8.11. Comutator cu came.

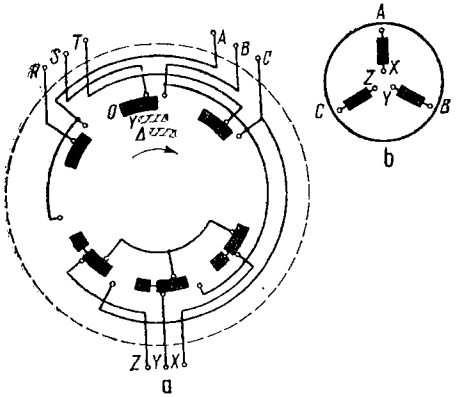
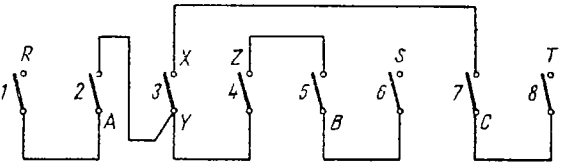


Fig. 8.12. Schema comutatorului stea-triunghi.



Poz \ Cont	1	2	3	4	5	6	7	8
0	—	—	○	●	—	—	—	—
Y	●	—	○	●	—	○	—	—
Δ	●	●	—	—	●	●	●	—

Fig. 8.13. Schema electrică și diagrama unui comutator stea-triunghi.

Ultimul grup de cifre, *d*, indică numărul de ordine din schema electrică la categoria respectivă de comutatoare și este dat de către proiectant.

În funcție de valoarea curentului electric nominal, comutatoarele cu came se fabrică în variante de 16; 25; 40; 63 și 100 A. Tensiunea nominală este de 380 (500) V c.a., respectiv 440 V c.c.

În practică sînt folosite și comutatoare specializate cu came, destinate unei anumite funcțiuni. Din această categorie fac parte comutatoarele stea-triunghi și inversoarele de sens.

8.3.1.5. COMUTATOARE STEA-TRIUNGHI

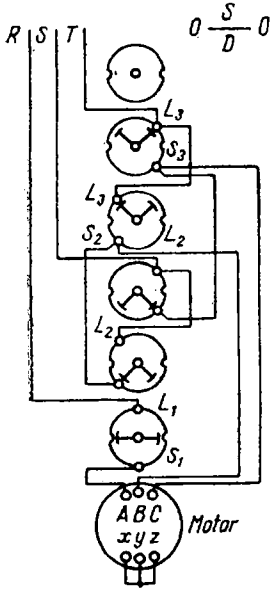
Acéste aparate sînt de două tipuri: manuale și automate. Ele comută capetele înfășurărilor fazice din conectarea în stea în conectarea în triunghi și se construiesc pentru curenți de 32 și 63 A (în aer), respectiv 100 și 220 A (în ulei). Comutatoarele manuale sînt acționate printr-un buton sau o pîrghie care rotește axul portcontacte mobile în trei poziții: zero (0), stea (Y) și triunghi (Δ). Poziționarea contactelor este indexată de o camă cu număr corespunzător de poziții. În figura 8.12, *a* este redată schema electrică a comutatorului de 32 și 63 A iar în figura 8.12, *b* — schema înfășurărilor comutate. S-au marcat, conform notațiilor normalizate, cu *A*, *B*, *C*, *X*, *Y*, *Z* capetele înfășurărilor fazice ale consumatorului comandat și cu *R*, *S*, *T* bornele rețelei. În prezent sînt tot mai des utilizate comutatoarele cu came stea-triunghi (STAS 2738-76) în variantele C 40 și C 63. În figura 8.13 sînt date schema electrică și diagrama unui astfel de comutator.

Comutatoarele stea-triunghi automate sînt prevăzute în plus cu un releu de temporizare și un sistem electromagnetic de acționare. Succesiunea funcțiilor comutatorului este următoarea: la început anclanșează contactorul care leagă capetele *X*, *Y*, *Z* în scurtcircuit, apoi imediat, contactorul de alimentare de la rețea. După un timp de 2...20 s (reglabil continuu) primul contactor declanșează și anclanșează al treilea contactor, care stabilește legătura în triunghi. În acest moment releul de timp este decuplat de la rețea.

Inversoarele de sens se utilizează pentru schimbarea sensului de rotație al motoarelor asincrone trifazate, prin modificarea succesiunii fazelor (de exemplu, în loc de R, S, T — R, T, S).

Aparatele special construite pentru reversarea sensului de rotație se utilizează în prezent mai puțin în cazul mașinilor-unelte. Sînt folosite mai des alte două variante, și anume, fie comutatoarele pachet sau cu came, fie două contactoare, cîte unul pentru fiecare sens. În figura 8.14 se prezintă o schemă de legături a unui comutator pachet utilizat pentru inversarea sensului de rotație al unui motor de 7 kW la 220 V sau 10 kW la 380 V. Cu astfel de comutatoare sînt echipate mașinile de frezat de fabricație indigenă FU-1 și FD-230.

Schema de legături pentru cele două contactoare este reprezentată în figura 8.15 (v. paragr. 8.3.2.1). Circuitul de comandă cuprinde două butoane de pornire (*bs* și *bd*) și un buton de oprire (*bo*). După cum se vede din schemă există pericolul ca la acționarea ambelor butoane (*bs* și *bd*) să se producă scurtcircuit între faze. De aceea se prevede fie un blocaj mecanic al armăturii contactorului neacționat fie, mai simplu, un blocaj electric, intercalînd în punctele *a* și *b* cîte un contact auxiliar *NI*. Astfel, în punctul *a* se va conecta un contact *NI* al contactorului *cd*, iar în *b* al contactorului *cs*. Acționarea unui astfel de sistem se poate face foarte simplu de la distanță, deci se pot concentra comenzile pe un panou de comandă central. În punctul *c* se înseriază contactul *NI* al releului termic ce protejează motorul respectiv.



Fi.g 8.14. Schema de legătură a unui comutator pachet folosit ca inversor de sens.

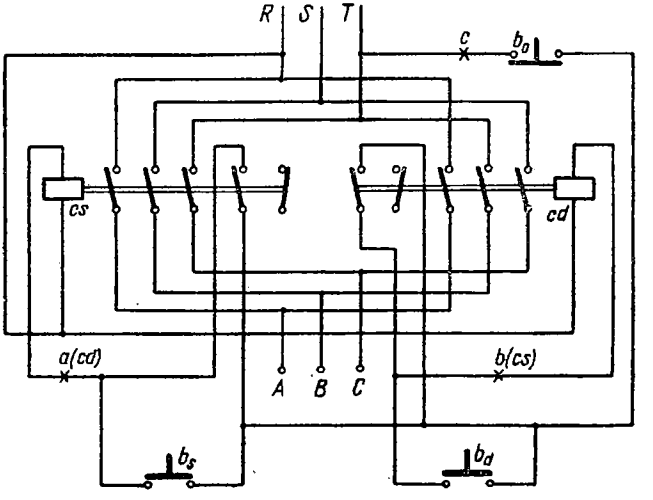


Fig. 8.15. Schema de legătură a două contactoare utilizate pentru comanda inversării de sens a mișcării unui motor.

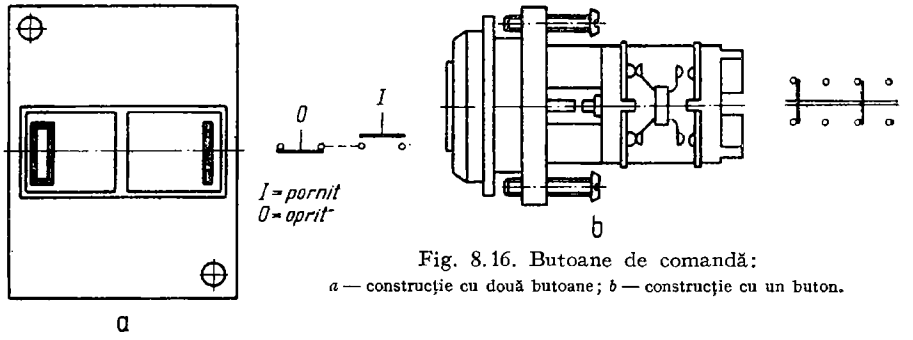


Fig. 8.16. Butoane de comandă:
a — construcție cu două butoane; *b* — construcție cu un buton.

8.3.1.7. BUTOANE DE COMANDĂ

Butoanele de comandă se folosesc în instalațiile de comandă și automatizare fiind destinate comenzii de la distanță, în special a contactoarelor și releelor intermediare. Ele pot avea două butoane (fig. 8.16, *a*), care închid sau deschid contacte normal deschise *I*, respectiv normal închise *0*, sau unul singur (fig. 8.16, *b*). Butoanele din a doua categorie au atît contacte *ND* cît și *NI*, putînd fi astfel folosite ca butoane de pornire sau/și ca butoane de oprire.

Butoanele de comandă pot fi cu revenire sau cu reținere. Spre deosebire de primul tip, butoanele cu reținere rămîn în poziția comandată și după încetarea comenzii.

Există o varietate foarte mare de butoane. Dintre acestea se amintesc următoarele:

— buton de comandă simplu (fig. 8.16, *b*);
— buton de comandă cu reținere;
— buton cu pipă;
— buton ciupercă;
— buton ciupercă cu reținere;
— buton cu lampă etc.

Butoanele de comandă pot avea contactele neprotejate (vizibile) sau închise într-un corp de formă paralelipipedică. Ultima variantă este tot mai des întîlnită. Se construiesc butoane pentru curenți pînă la 6 A și tensiuni pînă la 500 V c.a.

În conformitate cu prevederile standardului 8183/1-76, butoanele pot avea una din următoarele culori: roșu, galben, verde, negru și alb (albastru deschis). Același standard prevede și funcțiile corespunzătoare fiecărei culori (de exemplu: roșu—oprire sau oprire rapidă, verde—pornire etc.).

8.3.1.8. CHEI DE COMANDĂ

Există situații în care funcționarea unei mașini-unelte sau a unui agregat într-un anumit regim este periculoasă sau nu este permis să fie modificată. În aceste cazuri sînt folosite cheile de comandă. În figura 8.17 este arătată

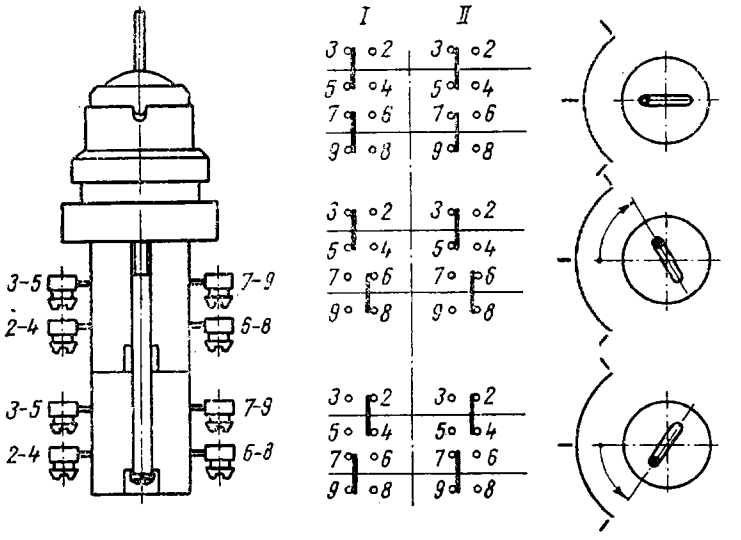


Fig. 8.17. Cheia de comandă:
a — construcția; *b* — schema funcțională.

o astfel de cheie cu trei poziții și diagrama de închidere a contactelor. Folosită pînă la 2 A (380 V c.a.), cheia de comandă are opt perechi de contacte (există și cu patru perechi), montate în socluri de bachelită, și un mecanism de acționare a contactelor mobile. Introducînd cheia (tip yalle) în broasca mecanismului și rotind-o spre stînga sau spre dreapta cu 60° se închide o pereche sau alta de contacte. Contactele rămîn blocate în poziția acționată și după scoaterea cheii. Revenirea la poziția inițială se poate face numai prin introducerea cheii în broască și rotirea ei.

8.3.1.9. MANIPULATOARE

Folosit în instalațiile de comandă și automatizare în cazul multor mașini-unelte, manipulatorul se execută în mai multe variante. În figura 8.18 este arătat un manipulator cu patru poziții nereținute. Specific manipulatorului este elementul prin intermediul căruia se acționează asupra contactelor mobile: o manetă care se termină cu o sferă. Pentru unele manipulatoare este suficient să se încline maneta în direcția și sensul dorit. Pentru altele însă este necesar să se apese sau să se tragă de manetă înainte de a o înclina. Dacă maneta rămîne în poziția acționată

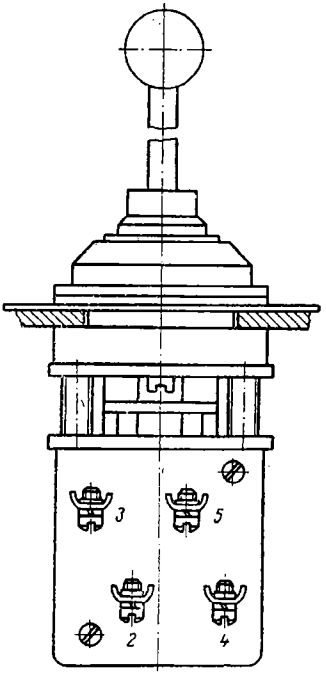


Fig. 8.18. Manipulator.

și după încetarea comenzii se spune că aparatul este cu poziție reținută. Toate tipurile de manipulatoare se folosesc pentru curenți pînă la 2 A și tensiuni pînă la 380 V c.a. respectiv 220 V c.c.

8.3.1.10. PRIZE ȘI FIȘE

Prizele și fișele sînt aparate utilizate pentru conectarea, în diferite puncte ale rețelei, a consumatorilor mobili și, în unele cazuri, chiar a utilajelor fixe de putere redusă. Ele se clasifică după mai multe criterii, după cum urmează:

— după numărul de poli: bipolare și tripolare;
— după materialul carcasei: din bachelită și din silumin;
— după felul montajului: aparente și îngropate.

Toate tipurile de prize și fișe sînt prevăzute cu un contact suplimentar, utilizat pentru pămîntare (protecție).

Pentru a nu modifica succesiunea fazelor, prizele și fișele sînt prevăzute cu o cheie de orientare care permite conectarea acestora numai într-o singură poziție. Dată fiind durata mare de conectare, presiunea pe contacte trebuie să fie și ea mare.

Caracteristicile electromecanice sînt (STAS 4641/1-76):

— tensiunea nominală: 380 V c.a. și 220 V c.a.;
— curentul nominal: 16; 32; 63; 125; 200 A;
— capacitatea de rupere: 1,25 × In;
— rezistența la uzură mecanică: 1 000 cicluri;
— durata de conectare: 100%.

În figura 8.19 se prezintă cîteva tipuri de prize și fișe industriale.

8.3.2. APARATE DE COMANDĂ DE LA DISTANȚĂ

Cu excepția unui număr restrîns de utilaje (toate de mică sau foarte mică putere cum sînt: polizoarele, mașinile de găurit mici sau portabile etc.), restul conțin, pe lîngă aparatele de comandă acționate manual, și pe cele comandate de la distanță. Aceste aparate execută în mod automat anumite operații, pe baza unor comenzi. Fiecare aparat din această categorie înlo-

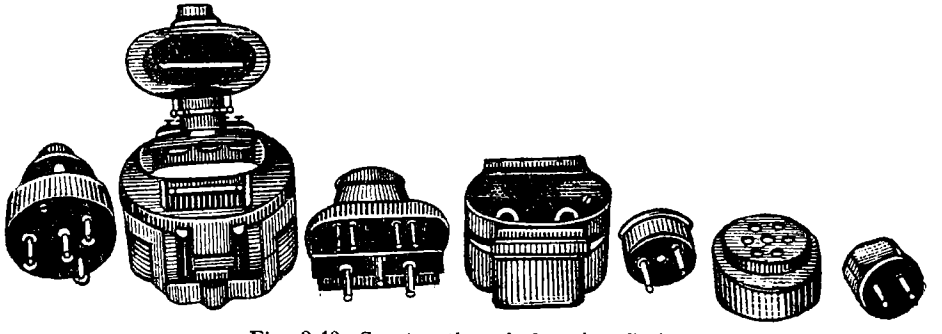


Fig. 8.19. Construcția prizelor și a fișelor.

cuiește unul sau mai multe aparate acționate manual, contribuind la simplificarea deservirii mașinilor-unelte și permițînd comanda de la distanță a acționărilor electrice. Aceste aparate sînt: contactoarele, ruptoarele, contactoarele de comandă, releele etc. O serie de aparate din această categorie sînt folosite în procesul de automatizare (de exemplu: contactoarele de comandă, releele intermediare, de automatizare etc.). Întrucît au la bază același principiu de funcționare ca și contactoarele electromagnetice, ele sînt prezentate la categoria aparatelor de uz general comandate de la distanță.

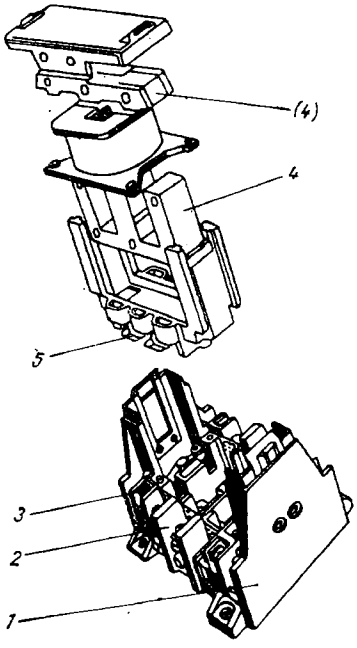


Fig. 8.20. Construcția contactorului.

8.3.2.1. CONTACTOARE ȘI RUPTOARE

Contactorul este un aparat destinat să producă închiderea sau deschiderea unui circuit electric, elementele lui mobile avînd o singură poziție staționară și anume în circuit deschis. Acestea sînt deplasate din poziția staționară, deci închid circuitul, printr-o comandă primită din afară, provocată de realizarea normală a unor condiții prestabilite în funcționarea unei instalații, și sînt menținute în poziția comandată atîta timp cît durează aceste condiții. Avînd o construcție similară contactorului, ruptorul se deosebește de acesta prin faptul că poziția staționară a elementelor sale mobile este în circuit închis.

Din punctul de vedere al acționării, contactoarele se împart în:

— electromagnetice, bobina de acționare fiind alimentată atît timp cît contactele principale trebuie să fie conectate;
— pneumatice, acționate de un motor pneumatic cu piston;
— mecanice, cu camă sau pîrghii.

În acționarea mașinilor-unelte sînt utilizate cele cu acționare electromagnetică, avînd contactele în aer sau în ulei. Se folosesc atît contactoare de c.a. cît și de c.c. Primele sînt mult mai răspîndite.

În figura 8.20 este prezentat desenul de ansamblu al unui contactor de 25 A, cu contacte în aer. Pe suportul *1* se fixează contactele fixe *3* prin piesele izolatoare *2*. Contactele mobile *5* sînt deplasate de către armătura liberă *4* a electromagnetului, armătură care este atrasă de electromagnet la trecerea curentului electric prin bobina sa. La scoaterea bobinei de sub tensiune armătura liberă revine în poziția inițială. Presiunea pe contacte, confecționate din aliaj de argint, se asigură prin intermediul unor resorturi.

Un contactor este prevăzut cu două tipuri de contacte:

— contacte principale sau de forță, care stabilesc sau întrerup continuitatea circuitelor principale (de exemplu: circuitul de alimentare a unui motor);

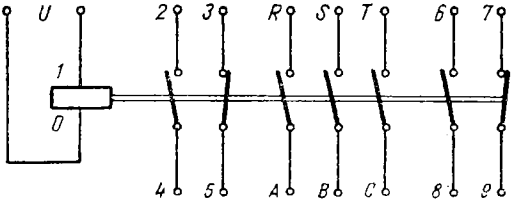


Fig. 8.21. Schema contactorului.

— contacte auxiliare, care servesc la închiderea sau deschiderea circuitelor de comandă, blocaj sau/și semnalizare. Contactele auxiliare pot fi *ND* (deschise în poziție de repaus) sau *NI* (închise în poziție de repaus).

Contactorul din figura 8.20 este prevăzut cu trei contacte de forță (pentru curenți de 25 A) și patru contacte auxiliare ($2\,ND + 2\,NI$). În figura 8.21 se prezintă schema electrică a acestui contactor.

În funcție de numărul contactelor principale, contactoarele pot fi mono, bi, tri sau multipolare. Pentru curent alternativ sînt utilizate cele tri și multipolare (cu 3, respectiv 4 contacte principale), iar pentru curent continuu cele monopolare.

Cele mai răspîndite contactoare sînt cele tripolare pentru serviciul normal de funcționare, *AC* 3. Contactoarele de tip *CT* și *AC* 3 mai echipează în foarte mică măsură unele mașini-unelte. Locul lor a fost luat de contactoarele *TCA* și, recent, de tipul *AR*. În tabelele 8.3 și 8.4 sînt arătate caracteristicile electromecanice ale contactoarelor *TCA* și respectiv *AR*.

Tabelul 8.3

Caracteristici electromecanice ale contactoarelor TCA

Tipul	Curentul nominal (termic) (A)	Puterea absorbită de bobina în poziție închisă (VA)	Contacte auxiliare		Puterea motorului 380 V, AC3 (kW)
			N.D.	N.I.	
TCA 6	6	17	1 2	— 2	2,2
TCA 10	10	17	1 2	— 2	5,5
TCAC 10	10	10 W	1 2	— 2	5,5
TCA 32	32	18	2	2	11
TCAC 32	32	20 W	2	2	11
TCA 40	40	18	2	2	18,5
TCA 63	63	25	2	2	30
TCA 125	125	100	2	2	55
TCA 200	200	115	2	2	110
TCA 250	250	235	2	2	132
TCA 400	400	200	2	2	220

Tabelul 8.4

Caracteristici electromecanice ale contactoarelor AR

Tipul	Curentul nominal (termic) (A)	Puterea absorbită de bobină în poziție închisă (VA)	Contacte auxiliare		Puterea motorului 380 V, AC 3. (kW)
			N.D.	N.I.	
AR 6	6	9 17 9 17	1 1 3 2	— — 2 2	2,2
AR 10	10	9 17 9 17	1 1 3 2	— — 2 2	5,5
AR 16	16 32	10 18	3 2	2 2	7,5 11
AR 25	25 32	12 18	3 2	2 2	11
AR 40	16 40	18	2	2	18,5
AR 63	63	20 25	2	2	30
AR 100	100 125	45 100	2	2	45 55
AR 160	160 200	85 115	2	2	90
AR 250	250	120 235	2	2	132
AR 400	400	140 200	2	2	220

În figura 8.22 (contactor *TCA* de 10 A) s-au pus în evidență bornele bobinei *1*, contactele principale *2* și contactele auxiliare *NI*, *3*, respectiv *ND*,*4*. Contactorul *TCA* de 32 A, redat în figura 8.23, are contactele auxiliare *3* separate de cele de forță *4*. Acestea din urmă sînt despărțite între ele prin paravane transversale *6*, capacul *7* avînd camere de stingere cu plăcuțe deionice *5* care fragmentează, răcesc și sting arcul electric. Bornele *2* pentru alimentarea bobinei sînt fixate în carcasa *1*.

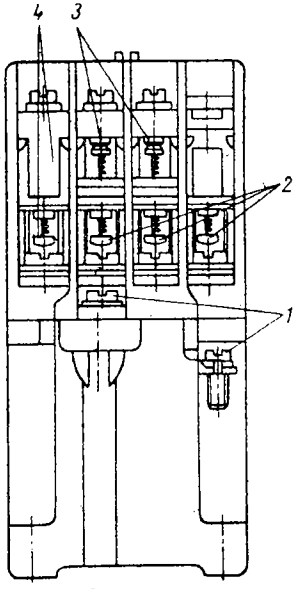


Fig. 8.22. Construcția contactorului TCA de 10 A.

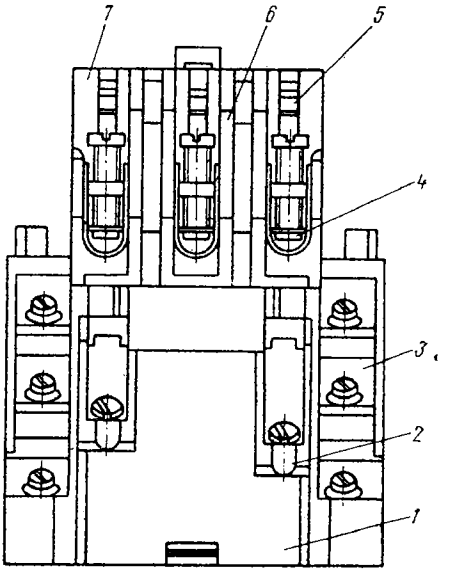


Fig. 8.23. Construcția contactorului TCA de 32 A.

Pentru contactoarele *TCA* și *AR* sînt valabile și următoarele caracteristici electromecanice:

— tensiunea nominală: 500 V c.a.;
— tensiunea de alimentare a bobinei:
curent alternativ: 24; 48; 110; 220; 380; 500 V (*TCA* + *AR*);
curent continuu: 24; 48; 60; 110; 220 V (*TCAC* + *AR*);
— serviciul de funcționare: 40% (*AC* 3), 100%;
— rezistența la uzură mecanică: $3 \cdot 10^5 ... 10^7$ manevrări;
— frecvența de conectare: 120...600 manevrări/oră.

Contactoarele tripolare sînt adesea echipate cu un releu termic, butoane de comandă și lampă de semnalizare. Întregul aparataj este închis într-o cutie din material plastic termorezistent și înaltă rezistență mecanică (10...63 A) sau metalică (100...200 A). În figura 8.24 este redată schema electrică a unui contactor cu releu termic. Legăturile *a* și *b* (linie-punct) sînt valabile numai dacă tensiunea de alimentare a bobinei contactorului este egală cu tensiunea între faze. Pentru comanda de la distanță se desface legătura *c* și se fac legăturile notate cu *d* (linie întreruptă). Releul termic este prevăzut cu un buton pentru rearmare *BR* accesibil din exterior.

În afară de caracteristicile cuprinse în tabelul 8.5 se mai menționează următoarele:

— tensiunea de alimentare a bobinei: 24; 48; 110; 220 V c.c.;
— rezistența la uzură mecanică: $3 \cdot 10^2 ... 10^6$ manevrări;
— sistemul de stingere a arcului: suflaj magnetic.

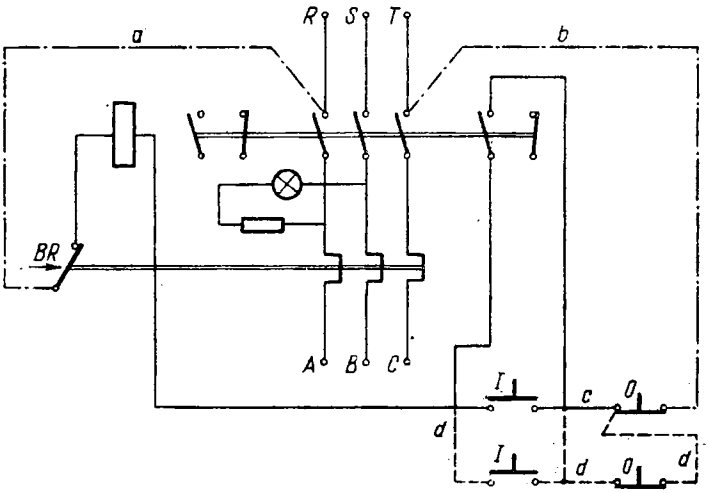


Fig. 8.24. Schema electrică a unui contactor cu releu termic.

Tabelul 8.5

Caracteristici electromecanice ale contactoarelor de c.c.

Tipul	Tensiunea nominală (V)	Intensitatea nominală [A]	Puterea absorbită de bobină (W)	Contacte auxiliare	
				N.D.	N.I.
BC 60	220	60	65	—	—
MC 80	220	80	40	— 1	— 1
MC 100	750	100	30	2	2
MC 150	220	150	35	1 2	1 2

Contactoarele în ulei au în plus faţă de cele în aer o cuvă metalică în care se află partea inferioară, inclusiv contactele contactorului. În figura 8.25 este prezentat desenul de ansamblu al unui astfel de contactor (fără cuvă), Schema electrică este redată în figura 8.26, punîndu-se în evidenţă şi sistemele termice şi electromagnetice de protecţie.

În tabelul 8.6 se prezintă principalele caracteristici ale contactoarelor în ulei, iar în figura 8.27 aspectul cîtorva tipuri de contactoare de diferite fabricaţii.

După cum s-a arătat la începutul paragrafului 8.3.2.1, ruptoarele se deosebesc de contactoare doar prin faptul că la primirea comenzii deschid un circuit şi îl menţin deschis atît timp cît există comanda. Rezultă că, pentru a asigura deconectarea, electromagnetul ruptorului va trebui să dezvolte o forţă mai mare decît în cazul unui contactor similar. Aceasta deoarece

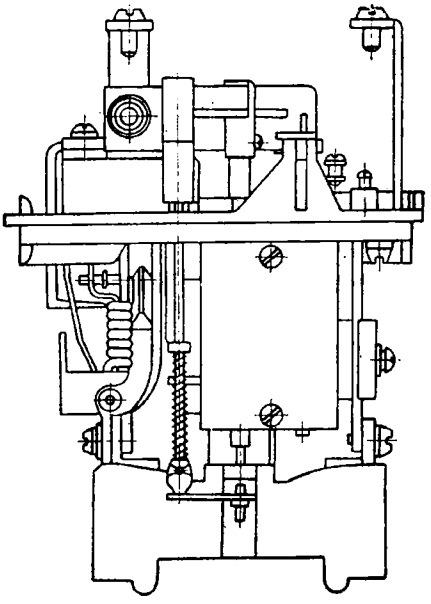
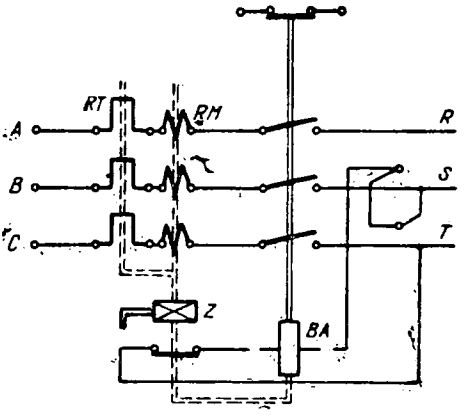


Fig. 8.25. Construcția unui contactor în ulei.

Fig. 8.26. Schema contactorului în ulei.



Tabelul 8.6

Caracteristicile contactoarelor în ulei fabricate în țara noastră

Caracteristica	Unit. de măsură	DITU 25	DITU 100
Tensiunea nominală	V	500	500
Intensitatea nominală	A	25	100
Tensiuni de serviciu	V	120, 220, 380, 500	
Reglajul releelor termice	—	(0,6...1) × Is	
Capacitatea de rupere	A	300	1 200
Reglajul releelor electromagnetice	—	10 × Is	8 × Is
Frecvența de conectare fără relee termice	manevră/oră	120	120
Idem, cu relee termice	manevră/oră	30	30
Rezistența la uzură mecanică	manevrări	10 000	10 000

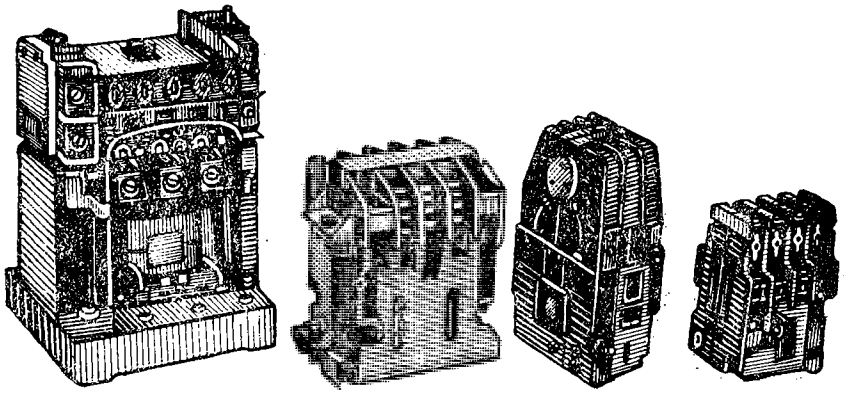


Fig. 8.27. Forme constructive de contactoare în ulei.

resortul care determină anclanşarea este mai puternic decît resortul care asigură numai presiunea normală pe contacte. Construcţia lor fiind similară cu cea a contactoarelor, ambele aparate sînt menţionate, în exploatare, sub denumirea de contactoare.

8.3.2.2. CONTACTOARE DE COMANDĂ

Asemănătoare cu contactoarele *TCA* de 6 şi 10 A, contactoarele de comandă (c.c.) se construiesc numai pentru un curent nominal de 6 A. Ele diferă de contactorul *TCA* de 6 A prin faptul că în locul celor trei contacte principale *ND* au patru contacte de tipul celor auxiliare. Contactele *NI* sînt în număr de cel mult patru. Combinaţia de contacte este înscrisă pe o etichetă sub forma unui indicativ alcătuit din două cifre, prima reprezentînd numărul de contacte *ND*, iar a doua pe cele *NI*.

În figura 8.28 este reprezentat un contactor de comandă, varianta c.c. 80 (opt contacte *ND*, zero contacte *NI*).

După cum sînt şi denumite, aceste contactoare sînt folosite aproape în exclusivitate în circuitele de comandă pentru a închide sau deschide circuite care alimentează, de obicei, bobinele contactoarelor, electroventilelor sau alţi consumatori de puteri relativ mici.

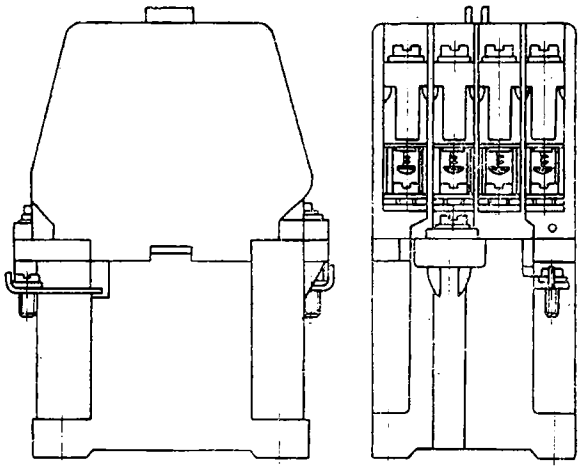


Fig. 8.28. Construcţia contactorului de comandă.

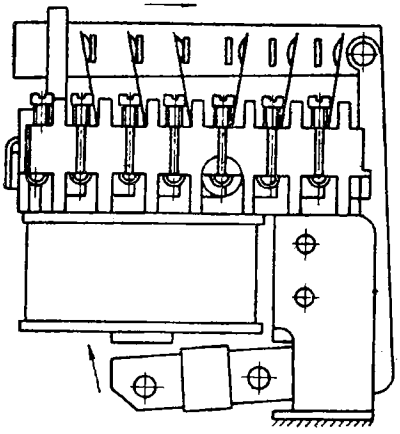


Fig. 8.29. Construcția releului intermediar RI—3—33.

8.3.2.3. RELEE INTERMEDIARE

Releele intermediare sînt elemente care se intercalează între elementul primar de comandă (microîntreruptor, limitator de cursă) și elementul comandat (contactor, motor de putere redusă) atunci cînd acesta din urmă absoarbe o putere relativ mare.

În construcția de mașini-unelte din țara noastră este mult utilizat releul intermediar tip RI-3, în special în constituirea schemelor de comandă automatizată ca memorarea comenzii.

Acest tip de releu intermediar poate avea 4, 6 sau 8 contacte cu rupere dublă. Numărul maxim de contacte *NI* este patru. Combinația de contacte este înscrisă pe o plăcuță în același mod ca la contactoarele de comandă. Se dau următoarele exemple:

RI — 3 80 — opt contacte *N D*;
RI — 3 42 — patru contacte *ND* și două contacte *NI*;
RI — 3 13 — un contact *ND* și trei contacte *NI*.

În figura 8.29 este reprezentat releul RI-3-33, în execuție deschisă. Releele în execuție închisă sînt formate dintr-un releu în execuție deschisă introdus într-o cutie metalică prevăzută cu un capac transparent din masă plastică.

Un releu intermediar asemănător cu RI-3 este releul RI-7. El este compus dintr-un releu RI-3 modificat, un sistem de blocare mecanică a armăturii releului RI-3 în poziția finală și un electromagnet pentru deblocarea releului. Releul RI-7 poate avea șapte contacte cu rupere dublă.

Ambele aparate se montează în poziție verticală și sînt garantate la 1 000 000 cicluri. Ele pot fi acționate în curent continuu (pînă la 220 V) sau alternativ (pînă la 500 V). Curentul maxim de conectare pe timp nelimitat este de 5 A.

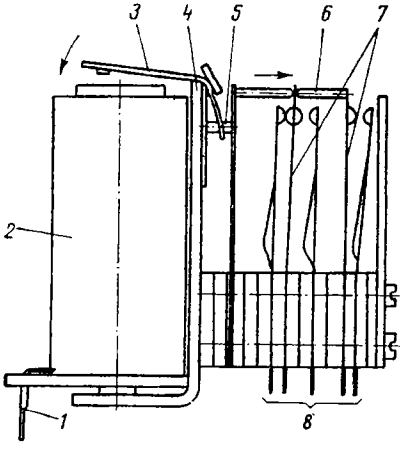


Fig. 8.30. Construcția releului intermediar RI—9.

8.3.2.4. RELEE INTERMEDIARE PENTRU AUTOMATIZĂRI

Folosite numai în schemele electrice de comandă, aceste relee sînt utilizate pentru multiplicarea impulsului de curent obținut prin două sau mai multe circuite următoare sau în realizarea diferitelor blocaje. În figura 8.30 este redat un releu RI-9 pentru automatizări. El se compune din:

— un electromagnet clapetă, a cărui bobină *2* este alimentată la bornele *1*;

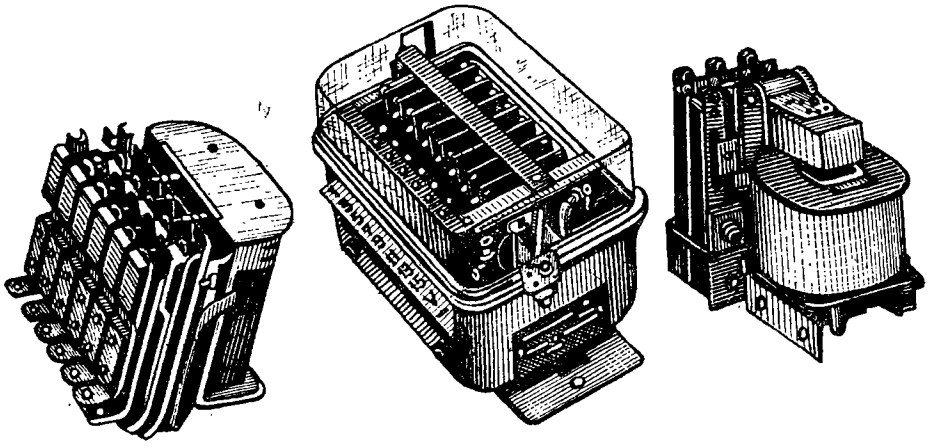


Fig. 8.31. Variante constructive de relee intermediare.

— două grupuri de contacte *8* ($2\,NI + 4\,ND$);

— un sistem de acționare a lamelelor elastice *7*, format din armătura *3*, fixată pe muchia plăcii de bază *4*, cepurile *5* și distanțierele *6* (cepurile și distanțierele sînt din material izolant);

— un capac de protecție, transparent, pentru grupurile de contacte (nereprezentat în figură).

Releul RI-8 este asemănător cu RI-9, dar se folosește numai în circuite de curent continuu.

Releul RI-13 se deosebește de precedentele prin faptul că este în întregime protejat de un capac transparent, capac fixat de placa suport pe care sînt montate toate elementele releului (electromagnet, contacte etc.). Releul are trei contacte *ND* și trei contacte *NI* (contacte comutatoare). Accesul la bornele bobinei electromagnetului și la contacte se face prin intermediul a 11 picioruțe (asemănătoare cu cele ale tuburilor electronice) fixate în placa suport (pe partea opusă capacului de protecție). Releul se fixează cu ajutorul celor 11 picioruțe într-un soclu, la care sînt aduse conductoarele de legătură.

În figura 8.31 sînt arătate unele dintre releele intermediare utilizate în instalațiile electrice ale mașinilor-unelte.

8.3.3. APARATE PENTRU AUTOMATIZĂRI

În categoria aparatelor pentru automatizări intră o serie de aparate specifice schemelor electrice destinate automatizării unui ciclu de lucru precum și aparate cu posibilități de utilizare mai largă. Aparatele specifice schemelor de comandă automată sînt limitatoarele de cursă, microîntreruptoarele, releele de timp ș.a. Celelalte aparate, cum sînt contactoarele de comandă, releele intermediare, de automatizări etc., deja prezentate, pot fi întîlnite și în circuite de comenzi manuale sau combinate.

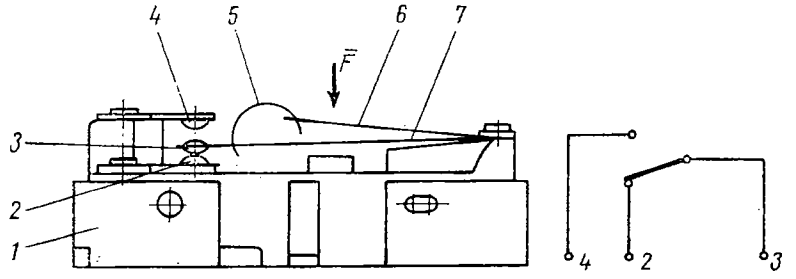


Fig. 8.32. Microîntreruptor.

8.3.3.1. MICROÎNTRERUPTOARE

Microîntreruptoarele sînt elemente foarte des utilizate în schemele de automatizare datorită dimensiunii lor mici de gabarit (adesea sub 20 × 15 × × 6 mm), vitezei mari de răspuns la comanda primită, numărului mare de manevrări sub sarcină (5...10 milioane), cursei mici a elementului mobil (0,2...1,5 mm), forței mici de acționare (0,5...3,7 N) etc.

Ele suportă curenți nominali de 2...8 A la tensiuni de 125, 220, 380 V c.a., sau 48, 110 V c.c.

Din punct de vedere constructiv se prezintă sub forma unei carcase prismatice din material izolant (în figura 8.32 s-a reprezentat doar suportul *1*) în interiorul căreia se găsesc contactele fixe *2* și *4* și contactul mobil dublu *3*. Acesta se află pe cadrul elastic *7*. Trecerea bruscă dintr-o poziție în alta a contactului mobil se face cu ajutorul arcului *5*. Pentru aceasta se acționează asupra lamelei elastice *6* printr-un buton, fie direct, fie prin intermediul unor tije, brațe etc. (fig. 8.33).

Microîntreruptoarele se pot prezenta și sub formă capsulată, în carcasă din silumin sau zamac.

8.3.3.2. LIMITATOARE DE CURSĂ

Limitatoarele de cursă se folosesc pentru reglarea lungimii cursei organelor mobile ale mașinilor-unelte sau ale altor utilaje similare. Ele se montează fie în circuitul principal, fie în cel de comandă. Limitatoarele pot fi cu tijă, cu rolă, cu bilă, cu pîrghie sau rotative.

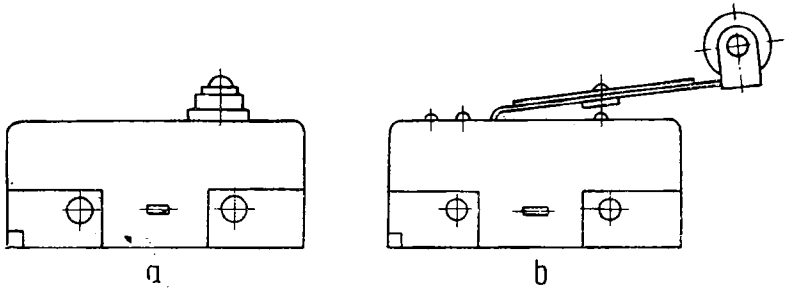


Fig. 8.33. Forme constructive de microîntreruptoare:
a — cu tije de acționare; *b* — cu pîrghie de acționare.

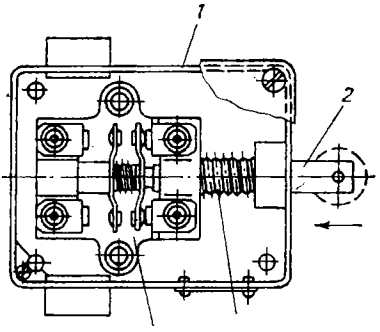


Fig. 8.34. Limitator de cursă.

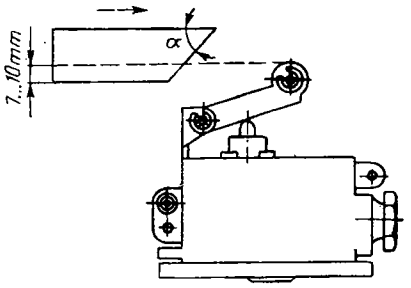


Fig. 8.35. Limitator de cursă cu microîntreruptor cu acțiune instantanee.

Constructiv, ele pot fi de tipul cu contact mobil (fig. 8.34) avînd un contact (*NI* sau *ND*) sau două contacte (*NI* și *ND*), ori cu microîntreruptor încorporat. Ambele pot fi capsulate sau deschise. De obicei contactele sînt în aer, dar se construiesc și limitatoare de cursă, pentru puteri mari, în ulei. În primul caz curentul nominal este de circa 6 A (la 500 V), iar în al doilea caz poate ajunge pînă la 60 A.

Dacă viteza de deplasare a contactelor mobile depinde de viteza de deplasare a organului care acționează, atunci limitatorul este simplu. În cazul în care viteza de deplasare a organului care acționează nu influențează viteza de comutare a contactelor, limitatorul este cu acțiune instantanee. El intră în acțiune instantaneu în momentul în care forța exercitată asupra lui atinge o anumită valoare. Toate limitatoarele care au încorporate microîntreruptoare sînt cu acțiune instantanee (fig. 8.35).

Acționarea elementului mobil al limitatorului de cursă se face fie direct de către organul mobil (limitator de cursă reglabil), fie, mai bine, de către o camă fixată pe organul mobil, a cărei poziție se poate regla și fixa pe organul respectiv (fig. 8.35). Unghiul α este de circa 60...65°. În figura 8.34 se prezintă un limitator cu contact mobil de construcție simplă, care, din punctul de vedere al performanțelor (în special precizia de limitare), este inferior celor cu microîntreruptor. El este prevăzut cu două perechi de contacte, 1 *NI* și 1 *ND* care pot conecta curenți de maximum 6 A, la o tensiune de 500 V.

În figura 8.36 sînt redate cîteva tipuri de microîntreruptoare și limitatoare de cursă utilizate în instalațiile electrice ale mașinilor-unelte.

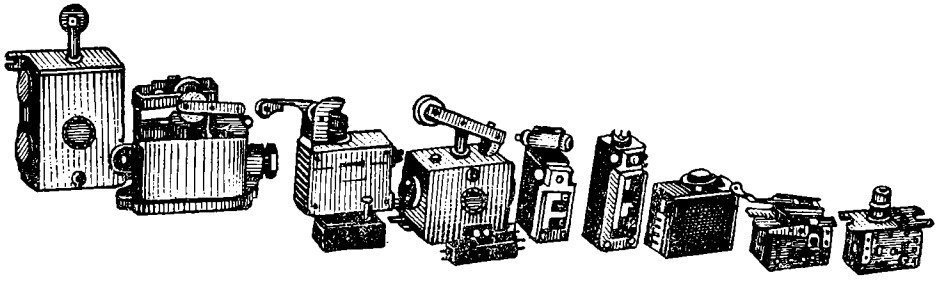


Fig. 8.36. Forme constructive de microîntreruptoare.

Un rol important în schemele de comandă pentru mașinile-unelte îl are temporizarea, necesară pentru întîrzierea conectării sau deconectării diferitelor aparate, realizarea pauzelor tehnologice etc. Pentru obținerea temporizării se folosesc releele de timp (sau cu temporizare).

În funcție de modul în care se realizează temporizarea, releele de timp utilizate în automatizarea ciclurilor de funcționare a mașinilor-unelte pot fi relee cu temporizare electromecanică sau electronică. În țara noastră se construiesc în prezent relee de ambele tipuri, cele din prima categorie fiind normalizate.

Relee electromecanice de temporizare. Unul din aceste relee este cel intermediar cu temporizare, de tip RI-3T. Acesta se compune dintr-un releu RI-3 cu 4 contacte ($2\,ND + 2\,NI$) și un dispozitiv de temporizare, cu mecanism de orologiu. Se construiește în execuție închisă în două variante:

— cu temporizare la acționare, *A*;

— cu temporizare la revenire, *R*.

În cazul primei variante există o perioadă de timp, reglabilă, între momentul alimentării bobinei și momentul în care sînt acționate contactele mobile. În cazul celei de-a doua variante există o perioadă de timp, de asemenea reglabilă, între momentul încetării alimentării bobinei și momentul în care contactele mobile revin în starea în care se aflau inițial. Acest tip de releu este folosit atît în circuite de c.a. cît și în cele de c.c. Temporizarea poate fi reglată pînă la 20 s (pentru ambele variante).

În circuitele de c.a. din instalațiile de automatizare sînt folosite și releele de timp de tip RTp-7. Pentru temporizările la acționare este folosit releul RTpa-7, a cărui schemă electrică este redată în figura 8.37, iar pentru temporizările la revenire releul RTpr-7, avînd schema electrică din figura 8.38.

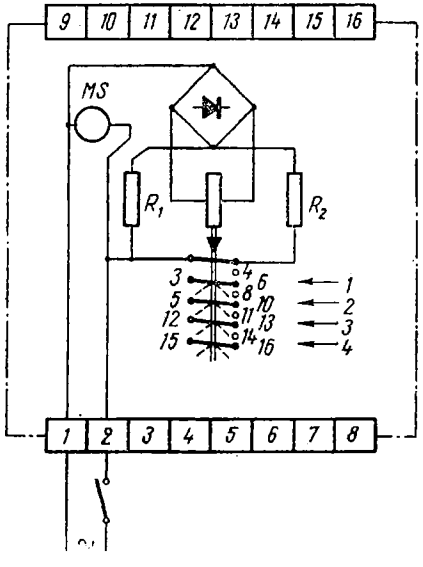


Fig. 8.37. Schema releului de temporizare la acționarea RTpa-7.

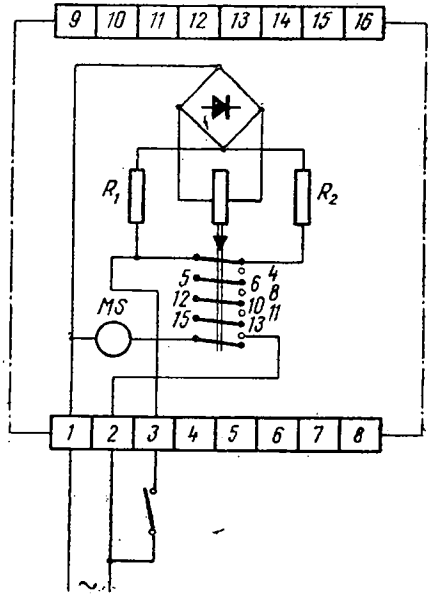


Fig. 8.38. Schema releului de temporizare la revenire RTpr-7.

Releul RTp-7 are ca bază de timp un motor sincron. Atît la acţionare cît şi la revenire temporizarea este reglabilă continuu în cadrul următoarelor game de valori:

— 0,3. . .6 s;
— 3. . .60 s;
— 0,3. . .6 min;
— 3. . .60 min;
— 0,3. . .6 ore.

Tensiunile nominale sînt de 24; 110 şi 220 V c.a.

Relee electronice de temporizare. Utilizarea tot mai frecventă a releelor electronice în instalaţiile electrice ale maşinilor-unelte se explică în primul rînd prin viteza foarte mare de reacţie la semnal, iar în al doilea rînd prin posibilitatea de legare a funcţionării releului de fenomene sau semnale de amplitudine foarte redusă. Îmbunătăţirea continuă a parametrilor, a fiabilităţii şi mai ales a tehnologiei de fabricaţie a semiconductoarelor, ceea ce a condus la lărgirea considerabilă a ariei de utilizare şi la creşterea randamentului lor, a făcut ca acestea să ia locul tuburilor electronice. Este greu de conceput la ora actuală o maşină-unealtă, chiar şi mai simplă, care să nu folosească în instalaţia ei electrică elemente semiconductoare.

În figura 8.39 se prezintă un releu electronic cu temporizare la acţionare. La închiderea contactului *a* tranzistorul *T* rămîne în continuare blocat, deoarece curentul mare de încărcare a condensatorului *C* produce o cădere mare de tensiune la bornele rezistorului *R*1. Pe măsura încărcării condensatorului *C* potenţialul bazei tranzistorului *T* creşte, astfel că după un interval de timp tranzistorul se deschide şi releul *r* anclanşează. Contactul *b*, aparţinînd releului *r*, conectează condensatorul *C* la rezistorul *R*3 în scopul descărcării lui, pregătindu-l astfel pentru un nou ciclu. Pe tot timpul ciclului de temporizare contactul *a* trebuie să fie închis. Deschiderea lui declanşează releul şi ciclul poate fi reluat.

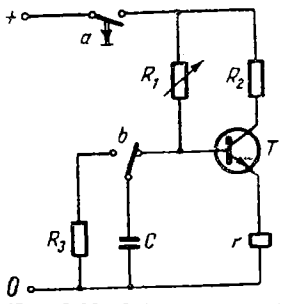


Fig. 8.39. Schema releului electronic de temporizare la acţionare.

Figura 8.40 prezintă un releu cu funcţionare inversă faţă de cel precedent (cu temporizare la revenire). La închiderea contactului *a* releul anclanşează ca urmare a creşterii curentului de colector al tranzistorului *T*. Prin contactul *b* al releului *r* condensatorul *C*, care s-a încărcat în pauze prin rezistorul *R*1, se conectează la baza lui *T* şi la deschiderea contactului *a* el menţine în continuare baza lui *T* la un potenţial pozitiv, tranzistorul rămînînd în conducţie. Condensatorul *C* se descarcă treptat pe rezistorul *R*2 astfel că potenţialul bazei lui *T* devenind după un anumit interval de timp prea mic blochează tranzistorul şi releul declanşează. Intervalul de timp dintre momentul acţionării butonului *a*, adică al conectării releului, şi cel al declanşării lui depinde de valorile capacităţii *C* şi a rezistenţei *R*2.

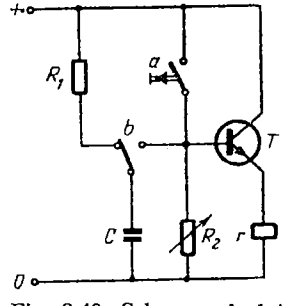


Fig. 8.40. Schema releului electronic de temporizare la revenire.

Reglînd valoarea rezistenței rezistorului $R2$ se poate regla temporizarea dată de acest releu. Din combinarea celor două relee se poate obține un releu cu temporizare atît la acționare cît și la revenire. În afară de schemele prezentate, în realizarea releelor electronice de temporizare pot fi folosite și circuitele basculante de tip mono, bi sau astabil. Ca elemente de comutație statică, dată fiind pe de o parte simplitatea lor iar pe de altă parte siguranța mare în funcționare, ele sînt curent folosite în circuitele de comandă ale mașinilor-unelte, fie în scopul unor temporizări (de exemplu monostabilele și chiar astabilele), fie ca celule de memorie, numărătoare etc. În cele ce urmează se prezintă, informativ, cîteva circuite din cele mai frecvent utilizate.

Unul dintre cele mai simple circuite de acest gen este triggerul Schmidt, care este un circuit basculant comandat. În schema din figura 8.41 se observă că, în lipsa semnalului la intrarea i, tranzistorul $T1$ este blocat și $T2$ în conducție, comandat fiind de tensiunea de polarizare dată de divizorul alcătuit din $R1$, $R2$, $R3$. Potențialul punctului e este apropiat de cel al mesei. Cînd la intrarea i se aplică un semnal (de orice formă), $T1$ se deschide în momentul în care amplitudinea semnalului depășește căderea de tensiune pe $R4$ și tensiunea de deschidere a lui. În acel moment $T2$ se blochează (potențialul bazei lui cade), căderea de tensiune pe $R2$ dispare și potențialul bornei e crește pînă la valoarea sursei. Această stare rămîne pînă cînd dispare semnalul de comandă de la intrarea i. Prin existența rezistorului comun $R4$ se realizează o comutare a stării de conducție, așa cum s-a arătat, și nu o variație proporțională a curenților de colector, se realizează adică o basculare a lor, ceea ce face ca potențialul în e să varieze în forma unor impulsuri dreptunghiulare, de amplitudine constantă (aproximativ Ua) și durată mai mică decît cea a impulsurilor de comandă. Acestea pot fi deci de orice formă și amplitudine, inclusiv variabile în timp.

În figura 8.42 se prezintă un circuit basculant monostabil. În repaus tranzistorul $T1$ este în conducție, $T2$ blocat; în acest caz potențialul lui $e2$ este zero iar al lui $e1$ egal cu cel al sursei. La aplicarea unui impuls negativ în punctul i, $T1$ se blochează și, prin divizorul compus din $R2$, $R5$, $R6$, baza lui $T2$ se pozitivează și $T2$ se deschide. Potențialele în punctele $e2$ și $e1$ se schimbă și saltul de tensiune prin condensatorul $C1$ face ca dioda $D1$ să se blocheze (anodul la potențial 0). Această stare rămîne în continuare (chiar

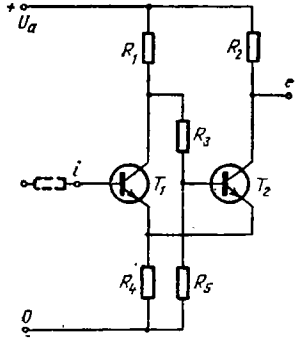


Fig. 8.41. Schema unui circuit basculant comandat.

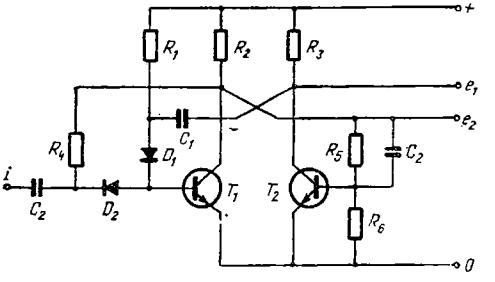


Fig. 8.42. Schema unui circuit basculant monostabil.

dacă semnalul de la intrare a dispărut) pînă cînd condensatorul $C1$ s-a încărcat prin $R1$ și, în acel moment, dioda $D1$ deschizîndu-se, $T1$ se deschide, $T2$ se blochează și schema revine la starea inițială.

Observăm că potențialele lui $e1$ și $e2$ variază în sensuri opuse, livrează deci impulsuri în antifază, ale căror durate depind de constanta de timp $C1 \cdot R1$. Deoarece suma tensiunilor de deschidere a diodei și tranzistoarelor este mai mare decît 0 și legea de încărcare a condensatorului este de tip exponențial, se obține pentru durata impulsului (pauzei) relația aproximativă $t \cong R1 \cdot C1 \cdot \ln 2$.

În figura 8.43 este redat un numărător de impulsuri care folosește un circuit monostabil. El poate fi utilizat pentru numărare (de exemplu, bile de rulmenți) sau ca tahometru electronic. Indicația instrumentului de măsurat depinde numai de numărul de închideri succesive ale contactului a.

Circuitul astabil este de fapt un generator de impulsuri dreptunghiulare care pot fi culese la unul din cele două colectoare, al lui $T1$ sau $T2$. Evident că ele vor fi în antifază (fig. 8.44). Circuitul funcționează în ambele faze ca un circuit monostabil în fază metastabilă. Cînd un tranzistor este blocat celălalt este în conducție. Această stare durează pînă cînd condensatorul, prin rezistența corespunzătoare, s-a încărcat, moment în care circuitul, la fel ca în cazul precedent, basculează. Saltul de tensiune constituie semnal de basculare al celui de-al doilea circuit și ciclul se reia. Durata de conducție-blocare depinde de constantele de timp $R1 \cdot C1$, respectiv $R4 \cdot C2$. Cînd $R1 = R4$ și $C1 = C2$ se obțin impulsuri cu $ti = tp$. Și în acest caz duratele impulsurilor și pauzelor sînt mai mici și anume: $t1 = 0{,}7 \cdot R1 \cdot C1 = ti$ și $t2 = 0{,}7 \cdot R4 \cdot C2 = tp$. Pentru ca cele două tranzistoare, în momentul deschiderii lor, să fie aduse la saturație și astfel impulsurile să fie dreptunghiulare, este necesar ca rezistoarele de colector ($R2$, $R3$) și de bază ($R1$, $R4$) să fie corespunzător alese, în funcție de factorul de amplificare în curent, β, al tranzistoarelor. Relațiile aproximative după care se determină valorile lor sînt:

$$10 \cdot R2 < R1 < 0{,}5 \cdot \beta \cdot R2;$$

$$10 \cdot R3 < R4 < 0{,}5 \cdot \beta \cdot R3.$$

Circuitele astabile în cadrul schemelor mașinilor-unelte pot fi folosite drept relee de temporizare, circuite de programare de bază de timp, oscilatoare pilot etc.

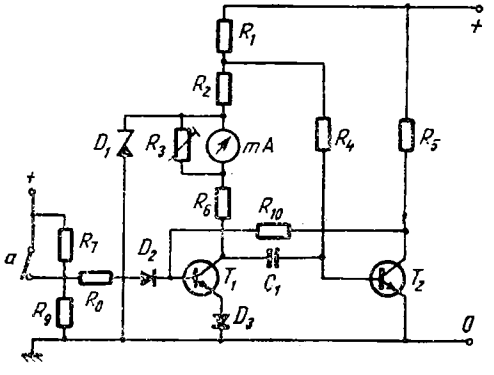


Fig. 8.43. Schema unui numărător de impulsuri.

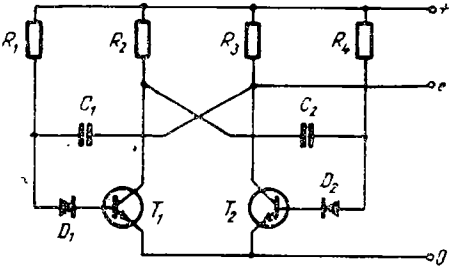


Fig. 8.44. Schema unui circuit astabil.

8.4. APARATE PENTRU PORNIRE ȘI REGLAJ

Aparatele pentru pornire și reglaj utilizate în acționarea electrică a mașinilor-unelte sînt: comutatoarele stea-triunghi manuale și automate, inversoarele de sens și reostatele de pornire. Ele servesc pentru pornirea și reglarea vitezei de rotație a motoarelor electrice. Comutatoarele stea-triunghi și inversoarele de sens au fost prezentate în paragrafele 8.3.1.5. și 8.3.1.6. În ceea ce privește reostatele de pornire, fără a avea o construcție specifică mașinilor-unelte, ele se utilizează la pornirea unor mașini grele.

Datorită complicațiilor care apar în exploatarea schemelor de acționare care conțin reostate, acestea sînt puțin utilizate în acționarea mașinilor-unelte.

Reostatele de pornire, destinate pornirii motoarelor asincrone trifazate cu inele colectoare, cuprind, constructiv, trei părți principale: rezistorul, confecționat fie din cromnichel, înfășurat pe izolatoare din porțelan fie din fontă fixată pe izolatoare din micanită, comutatorul, cu ajutorul căruia se conectează diferitele porțiuni ale rezistorului, și armătura de montaj, care cuprinde (în unele cazuri) și cuva cu ulei de răcire. În tabelul 8.7 se dau principalele caracteristici ale reostatelor de pornire, iar în tabelul 8.8 ale reostatelor

Tabelul 8.7

Reostate de pornire

Tipul reostatului	Puterea motorului (kW)	Tensiunea rotorului (V)	Intensitatea rotorului (A)	Caracteristici de pornire		Numărul de poziții
				Timpul (s)	Intensitatea (A)	
RP 20	20	270	49	12	73,2	3÷9
RP 28	30	380	48	14	72	3÷9
RP 40	40	450	100	16	150	6÷12
RP 100	100	525	121	24	181	6÷12

Tabelul 8.8

Reostat de reglaj; 10 ploturi pentru un reglaj de 50%

Tipul reostatului	Puterea (kW)	Caracteristicile motorului			
		Statorul		Rotorul	
		Tensiunea utilizată (V)	Intensitatea (A)	Tensiunea (V)	Intensitatea (A)
Rcpr 80	75	500	117	234	217
Rcpr 100	100	380/660 500	197/113 150	314/300	195/200
Rcpr 130	130	220/380 500	251/135 192	267	290
Rcpr 190	190	500	274	377	298
Rcpr 290	290	577/1 000	318/218	550	318

de pornire și reglaj. Condițiile tehnice generale impuse reostatelor de pornire sînt date în STAS 7314-73. Reostatele de pornire și reglaj asigură o reglare pînă la 50% din turația nominală, în ambele sensuri de rotație.

8.5. APARATE PENTRU PROTECȚIE

În componența instalației electrice a oricărei mașini-unelte se găsesc și aparate pentru protecție. Acestea sînt: siguranțele fuzibile, releele electromagnetice și releele termice. Primele două tipuri sînt folosite pentru protecția împotriva curenților de scurtcircuit, iar ultimul pentru protecția împotriva curenților de suprasarcină de durată.

8.5.1. SIGURANȚE FUZIBILE

Cele mai simple și deci cele mai utilizate aparate de protecție sînt siguranțele fuzibile. Ele se bazează pe fenomenul de transformare a energiei electrice în energie calorică. Peste o anumită valoare a intensității curentului, metalul elementului fuzibil se topește și circuitul respectiv se deschide. În momentul arderii siguranței există posibilitatea formării arcului electric care să continue conducția și de aceea se iau măsuri speciale pentru a evita acest lucru. Datorită simplității constructive și mai ales a ușurinței de înlocuire, ele sînt utilizate în majoritatea circuitelor (de forță, de comandă, de iluminat etc).

Din punct de vedere constructiv siguranțele pot fi deschise, la care arcul se rupe în aer liber, sau închise, la care arcul se rupe într-un alt mediu.

Siguranțe deschise. Sînt utilizate mai mult în circuitele de forță și se construiesc pentru curenți pînă la 500 A, din lamele de zinc electrolitic avînd un singur loc de topire (fig. 8.45, *b*). Ele se montează pe siguranțe de tip mîner (fig. 8.45, *a*). Din cauză că arcul care se produce la topirea fuzibilului este exterior, produsele arderii se depun pe placa portsiguranță putînd duce la metalizarea acesteia. În al doilea rînd, arcul format poate trece la fazele vecine, din care cauză va trebui ca între faze să se plaseze pereți despărțitori izolanți.

Cele două fenomene constituie principalele dezavantaje ale acestor siguranțe. Siguranța de tip mîner se introduce în niște contacte fixe asemănătoare celor pentru separatoare (fig. 8.3).

Elementele componente ale siguranței se confecționează conform standardului STAS 4173-72. Dimensiunile lamelelor de zinc sînt date în tabelul 8.9.

Un alt tip de siguranță deschisă este siguranța tubulară de fabricație sovietică, din porțelan și fuzibile din argint, pentru 60, 80, 100, 125, 160 și 200 A la tensiuni pînă la 500 V. Utilizarea argintului prezintă avantajul că sîrma nu se oxidează la încăl-

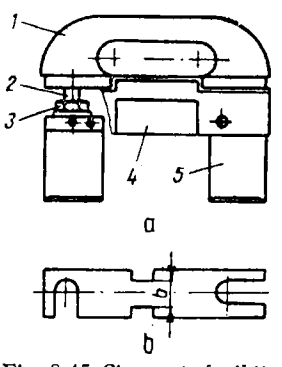


Fig. 8.45. Siguranțe fuzibile de tip deschis:
a — ansamblu; *b* — lame; *1* — mîner; *2* — bornă; *3* — piuliță de strîngere; *4* — placă; *5* — contact; *6* — crestare pentru zona de topire

Tabelul 8.9

Dimensiunile lamelelor de zinc electrolitic pentru siguranțe fuzibile

Curentul nominal (A)	Lățimea locului de topire (mm)	Grosimea tablei (mm)	Secțiunea locului de topire (mm^2)
100	5	0,5	2,5
125	8	0,5	4
160	12	0,5	6
200	17	0,4	6,8
225	2	1	8
250	10	1	10
300	13	1	13
360	5	2	10
430	7	2	14
500	9	2	18

zire chiar pînă la 350°C, ceea ce asigură stabilitatea condițiilor de topire. Un al doilea avantaj al acestor siguranțe îl constituie prezența tubului de porțelan care limitează efectele arcului electric.

Siguranțe de tip închis. Siguranțele de tip închis pot fi fără sau cu umplutură. Cele fără umplutură prezintă avantaje față de siguranțele deschise tubulare cu care dealtfel se aseamănă. În primul rînd efectele arcului sînt mai strîns localizate, fuzibilul fiind complet închis, iar în al doilea rînd, materialul tubului fiind gazogen (fibră, textolit), arcul este rupt instantaneu ca urmare a creșterii presiunii locale. Deși schimbarea fuzibilului este mai anevoioasă decît la siguranțele deschise, se preferă ultimelor din cauza gabaritului de montaj mai redus (ca urmare a localizării efectelor arcului).

Din categoria siguranțelor fuzibile cu material de umplutură cele mai utilizate sînt siguranțele unipolare cu filet, care se folosesc atît în circuitele de comandă, de iluminat cît și în cele de forță (6. . .100 A). O astfel de siguranță se compune din trei părți:

Soclul (fig. 8.46), montat fix pe panoul electric al mașinii sau pe tabloul de distribuție. Soclurile se construiesc în două variante: cu legăturile în față (tip LF) și cu legăturile în spate (tip LS). Ele se compun din corpul de porțelan *1*, capacul *2* tot din porțelan, contactul filetat superior *3* cu borna de legătură *4*, contactul de fund *5* cu borna respectivă *6*.

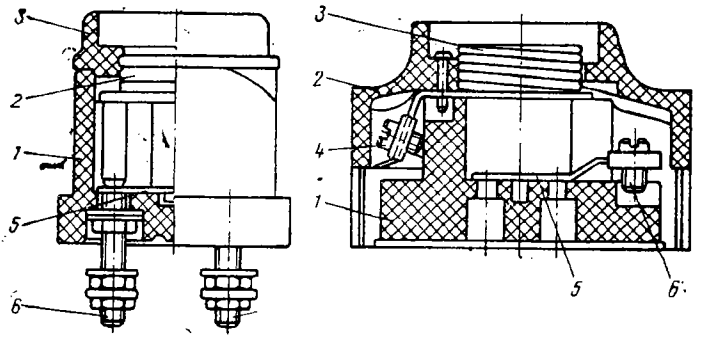


Fig. 8.46. Soclul siguranțelor fuzibile cu material de umplutură.

Patronul port-fuzibil (fig. 8.47), confecționat dintr-un corp de porțelan cu două contacte metalice la capete, între care se leagă fuzibilul. Interiorul este umplut cu nisip de calitate superioară (90% bioxid de siliciu, lipsit de oxizi metalici). Patroanele se construiesc în trei variante, deosebite ca formă și dimensiuni:

— patroane de 6, 10 și 16 A (fig. 8.47, *a*);
— patroane de 20, 25, 35, 50 și 63 A (fig. 8.47, *b*);
— patroane de 80 și 100 A (fig. 8.47, *c*).

Capacul filetat (fig. 8.47, *d*) are rolul de a fixa patronul în soclu și de a asigura presiunea pe contactul de fund al acestuia. Cuprinde capacul propriu-zis filetat *1* și piesa izolatoare *2* din porțelan.

În tabelul 8.10 se dau caracteristicile fuzibilului din sîrmă (pînă la 80 A) și din bandă (peste 80 A).

Diferitele prescripții referitoare la aceste tipuri de siguranțe sînt standardizate *.

Patronul cu fuzibilul topit se înlocuiește cu altul original, acesta avînd înscrisă aceeași valoare a curentului ca cel înlocuit, sau se înlocuiește fuzibilul, prin interiorul patronului, conform tabelului 8.10. În nici un caz nu se admite adăugarea de sîrme prin exteriorul patronului.

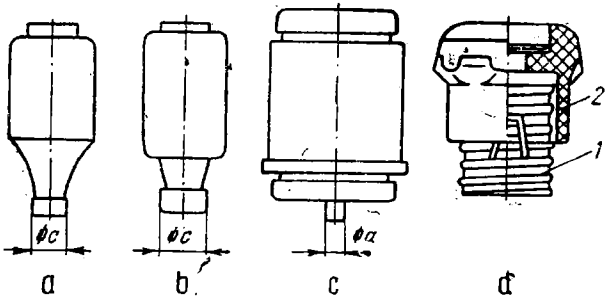


Fig. 8.47. Elemente ale siguranțelor fuzibile cu umplutură *a, b, c* forme de patroane; *d* — capacul filetat.

* Prescripții pentru siguranțe:

— Condiții tehnice:	STAS 452/1-73;
— Dimensiunile soclurilor:	STAS 452/2-73;
— Capacele filetate:	STAS 452/3-73;
— Patroanele siguranțelor:	STAS 452/4,5-73.

Tabelul 8.10

Secțiunea sîrmei fuzibilului pentru diferite intensități ale curentului

Curentul nominal (A)	Diametrul sîrmei (mm)	Numărul de conductoare	Secțiunea fuzibilului (mm²)
6	0,18	1	0,0255
10	0,25	1	0,049
15	0,35	1	0,096
20	0,45	1	0,158
25	0,35	2	2 × 0,096
35	0,35	3	3 × 0,096
45	0,45	2	2 × 0,158
60	0,65	2	2 × 0,33
80	bandă de 0,15 mm	—	0,60
100		—	0,75

8.5.2. RELEE TERMICE ȘI ELECTROMAGNETICE

În afara siguranțelor fuzibile, o largă utilizare o au releele termice și electromagnetice.

Releul termic are la bază fenomenul de dilatare termică a unei lamele care este încălzită ca urmare a trecerii unui curent electric prin conductorul bobinat pe aceasta. Practic se utilizează două lamele sudate între ele, din materiale cu coeficienți diferiți de dilatare termică, deci un bimetal. După cum rezultă din figura 8.48, lamela *2* se dilată mai mult decît lamela *1*, astfel că bimetalul se curbează, deplasarea Δl depinzînd de valoarea curentului I_f. La o anumită valoare a curentului I_f deplasarea Δl este suficient de mare pentru a se acționa asupra propriului contact *NI* aflat în circuitul de alimentare a bobinei contactorului *c*.

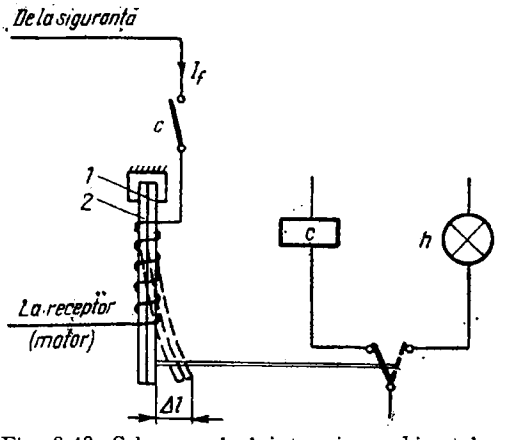


Fig. 8.48. Schema releului termic cu bimetal.

Decuplînd, acesta îşi va deschide contactul *c* înseriat cu bobina de pe bimetal, iar receptorul va fi scos de sub tensiune. În acelaşi timp se închide contactul *ND* al releului termic şi lampa de semnalizare din circuitul respectiv va fi pusă sub tensiune, deci va confirma funcţionarea releului.

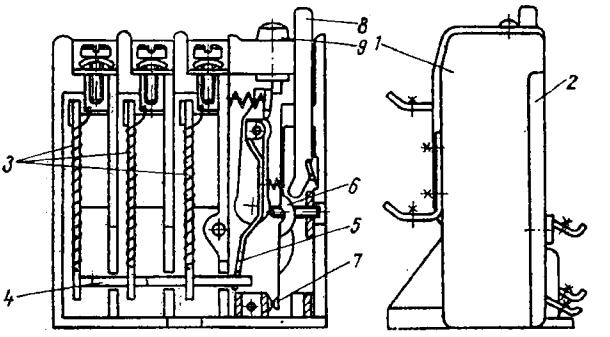


Fig. 8.49. Releu termic din seria TSA.

În figura 8.49 este arătat un releu termic din seria TSA (tipul TSA 10). Releele din această serie sînt folosite pentru curenţi cuprinşi între 0,4 şi 400 A (tab. 8.11).

Tabelul 8.11

Relee termice

Tipul	Curentul nominal (A)	Curentul de lucru (A)	Masa (kg)
TSA 10	10	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11.	0,130
TSA 32	32	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11; 15; 20; 25; 32.	0,225
TSA 63	63	40; 63.	0,425
TSAw 400	400	100; 160; 200; 250; 400	1,550

Releul se compune din cutia *1* şi capacul *2* din materiale izolante termorezistente care protejează cele trei bimetale *3*, unul pentru fiecare fază. Aceste bimetale acţionează prin intermediul pîrghiei din textolit *4* asupra lamelei elastice *5*, iar aceasta asupra lamelei elastice *6* ce conţine contactul mobil *7*. Pentru rearmare (manuală) se apasă asupra tijei din material plastic *8*. Prin rotirea şurubului cu excentric *9* se reglează, în intervalul (0,6. . .1) *Ireleu* valoarea curentului pentru care releul va acţiona.

Principalul dezavantaj al releelor termice este inerţia mare, motiv pentru care nu pot fi utilizate în cazul protecţiei la suprasarcină de scurtă durată (scurtcircuit). De aceea ele se cuplează în majoritatea cazurilor fie cu relee electromagnetice, fie cu siguranţe fuzibile.

Releele electromagnetice sînt constituite dintr-un electromagnet a cărui înfăşurare este parcursă de curentul electric corespunzător circuitului protejat. Cînd curentul depăşeşte valoarea pentru care a fost reglat, adică atunci cînd forţa electromagnetică dezvoltată va depăşi forţa resortului de reglaj, armătura liberă va fi atrasă şi va acţiona asupra unui zăvor sau contact mobil

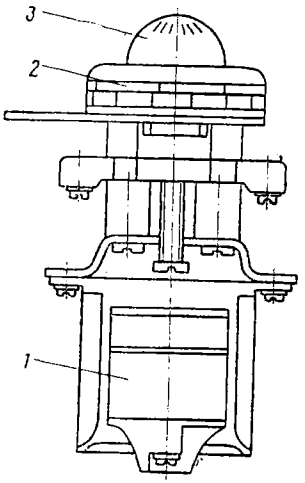


Fig. 8.50. Construcția unei lămpi de semnalizare cu transformator.

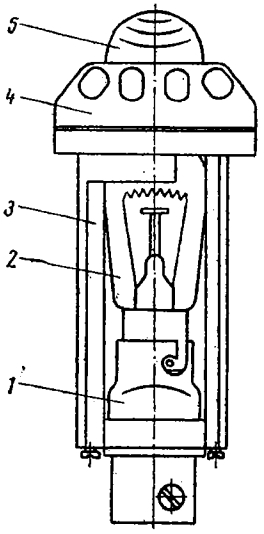


Fig. 8.51. Lampă de semnalizare cu alimentare directă de la rețea.

aflat în circuitul de comandă a bobinei de acționare. Acțiunea lui fiind instantanee, el este foarte potrivit pentru protecția la scurtcircuit.

Cele două tipuri de relee se reglează astfel:

— releul termic pentru curentul nominal al motorului; inerția lui fiind mare, el nu va acționa la curentul de pornire (6. . .8 ori I_n);

— releul electromagnetic pentru curenți mai mari decît cei de pornire (Isc). Prin cuplarea celor două relee se realizează o protecție deplină. Cele două relee formează un bloc care este reprezentat în figura 8.25.

8.6. SISTEME DE SEMNALIZARE

Sistemele de semnalizare sînt folosite pentru a pune în evidență dacă anumite circuite, din cadrul instalațiilor electrice, sînt sau nu sub tensiune. În cazul instalațiilor mai complexe semnalizarea este folosită și pentru a fi ușor observate acele circuite în care s-a produs un deranjament, în scopul dea detecta și localiza rapid defectul.

Aparatele folosite în aceste scopuri sînt lămpile și hupele de semnalizare. Ultimele sînt folosite în special pentru avertizarea în caz de avarie sau ca măsură suplimentară de protecție a muncii.

În figura 8.50 s-a redat o lampă de semnalizare cu transformator (220/24 V, 3 VA). Dacă lipsește transformatorul *1*, lampa se folosește direct la 220 V, avînd un bec corespunzător, protejat de dispersorul *3*. Lampa de semnalizare din figura 8.51 este folosită prin alimentare directă de la rețea (220 V). Becul *2*, de tip baionetă, fixat în soclul *1*, este protejat de corpul metalic *3* și de dispersorul *5*.

Pentru selectivitatea semnalizării, lămpile de semnalizare (dispersoarele lor) pot fi de diferite culori, în conformitate cu prevederile standardului STAS 8138/1-76: roșu, galben, verde, alb (transparent) și albastru deschis. Același standard prevede funcțiile corespunzătoare fiecărei culori (de exemplu: galben-atenționare sau avertizare, verde-mașina-unealtă este pregătită pentru funcționare etc.).

9

PRINCIPII PENTRU ÎNTOCMIREA SCHEMELOR ELECTRICE ȘI ELECTRONICE PENTRU COMANDA MAȘINILOR-UNELTE

9.1. SEMNE CONVENȚIONALE UTILIZATE ÎN SCHEMELE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

În instalațiile electrice și electronice utilizate pentru comanda mașinilor-unelte se utilizează o mare varietate de aparate, instrumente și dispozitive de comandă.

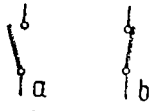
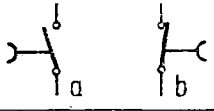
Pentru ușurarea desenării și înțelegerii schemelor, dispozitivele, aparatele și motoarele electrice se reprezintă simbolizat.

Numărul simbolurilor utilizate este relativ redus deoarece elementele dispozitivelor de comandă au multe caracteristici comune. Astfel, releele electromagnetice indiferent de tipul lor conțin ca elemente principale o bobină și un număr mai mare sau mai mic de contacte. Introducerea unor simboluri convenționale pentru bobine și contacte a permis o reprezentare simplă a releelor în schemele electrice cu toate că acestea sînt foarte diferite, atît constructiv cît și ca destinație.

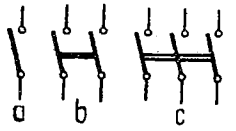
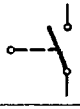
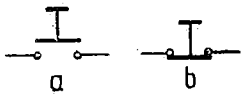
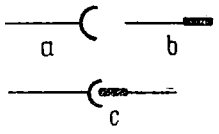
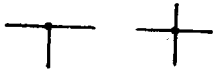
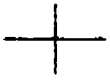
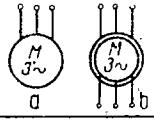
În tabelele 9.1, 9.2 și 9.3 sînt prezentate principalele semne convenționale și notații standardizate în R.S.România și utilizate în schemele electrice și electronice ale mașinilor-unelte.

Tabelul 9.1

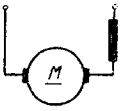
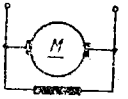
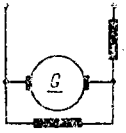
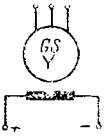
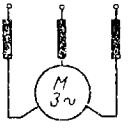
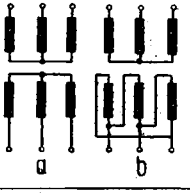
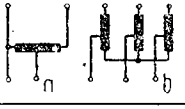
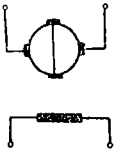
Semne convenționale folosite în schemele de acționări electromecanice

Nr. crt.	Denumirea	Semnul convențional
1	2	3
	Aparate de conectare	
1	Contact *a)* normal deschis *ND* *b)* normal închis *NI*	
2	Contact cu temporizare la închidere: *a) ND* *b) NI*	

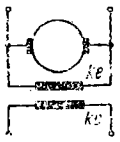
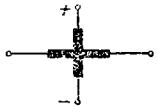
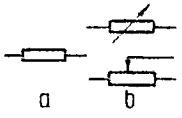
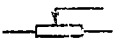
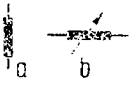
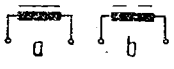
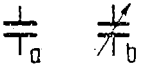
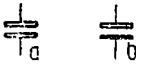
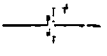
Tabelul 9.1 (continuare)

1	2	3
3	Contact cu temporizare la deschidere: *a) ND* *b) NI*	
4	Întreruptor cu pîrghie în aer: *a)* monopolar *b)* bipolar *c)* tripolar	
5	Contact comutator	
6	Contact de fine de cursă	
7	Buton de comandă cu revenire automată: *a)* cu contact *ND* *b)* cu contact *NI*	
8	Buton de comandă cu blocaj mecanic *a)* cu contact *ND* *b)* cu contact *NI*	
9	Priză și fișă: *a)* priză *b)* fișă *c)* priză și fișă asamblate	
10	Bornă de legătură	
11	Intersecții de conductoare cu legătură electrică	
12	Intersecții de conductoare fără legătură electrică	
	Mașini electrice	
13	Motor asincron trifazat cu: *a)* rotorul în scurtcircuit *b)* rotor cu inele (bobinat)	

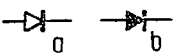
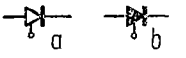
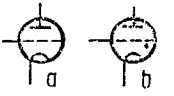
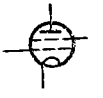
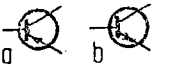
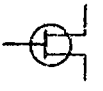
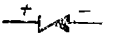
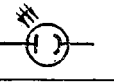
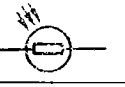
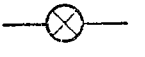
Tabelul 9.1 (continuare)

1	2	3
14	Motor *M* de curent continuu cu excitație serie	
15	Motor *M* de curent continuu cu excitație în derivație	
16	Generator *G* de curent continuu cu excitație mixtă	
17	Generator sincron *GS*, trifazat, conexiune stea	
18	Motor cu colector, trifazat, serie	
19	Transformator de tensiune monofazat	
20	Transformator de tensiune trifazat, conexiunea: *a)* stea — stea *b)* stea — triunghi	
21	Transformator de curent	
22	Autotransformator: *a)* monofazat *b)* trifazat, conexiune în stea	
23	Amplidină	

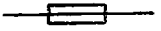
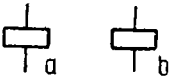
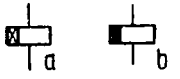
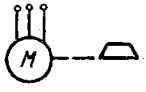
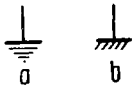
Tabelul 9.1 (continuare)

1	2	3
24	Rototrol: k_e — înfășurare de excitație k_c — înfășurare de comandă	
25	Amplificator magnetic k_c — înfășurare de comandă	
	Elemente de circuite electrice	
26	Rezistoare cu rezistență: *a)* fixă *b)* variabilă (potențiometru)	
27	Rezistoar cu reglaj predeterminat (trimer)	
28	Reostat	
29	Rezistor în montaj potențiometric	
30	Bobină (înfășurare) cu inductanță *a)* fixă *b)* variabilă	
31	Bobină cu: *a)* miez feromagnetic *b)* miez feromagnetic și întrefier	
32	Condensator cu capacitate: *a)* fixă *b)* variabilă	
33	Condensator electrolitic: *a)* nepolarizat *b)* polarizat	
	Aparate și instalații electrotehnice diverse	
34	Pilă electrică sau acumulator	

Tabelul 9.1 (continuare)

1	2	3
35	Redresor (diodă): *a)* semn general *b)* cu semiconductoare	
36	Redresor comandat: *a)* semn general *b)* cu semiconductoare (tiristor)	
37	Diac	
38	Triac	
39	Diodă cu: *a)* vid *b)* gaz	
40	Triodă cu: *a)* vid *b)* gaz	
41	Tub electronic cu mai mulți electrozi (de exemplu tetrodă)	
42	Tranzistor de tip: *a)* *p n p* *b)* *n p n*	
43	Tranzistor unijoncțiune (T.U.J.)	
44	Diodă stabilizatoare (Zenner)	
45	Celulă fotoelectrică	
46	Fotorezistor	
47	Amplificator	
	Accesorii electrice. Diverse	
48	Lampă de semnalizare (iluminat)	

Tabelul 9.1 (continuare)

1	2	3
49	Hupă (avertizor sonor)	
50	Sonerie	
51	Siguranță fuzibilă	
52	Releu termic	
53	Bobină de: *a)* contactor *b)* releu electromagnetic	
54	Bobină de releu cu temporizare la: *a)* acționare *b)* revenire	
55	Ampermetru: *a)* indicator *b)* înregistrator *V* — voltmetru *W* — wattmetru *f* — frecvențmetru etc.	
56	Comandă electromagnetică (Bobină de acționare) Ex.: bobină electromagnet, masă electromagnetică (platou), ambreiaj electromagnetic	
57	Mașini electrice cuplate mecanic	
58	Motor electric cu frînă	
59	Legare la: *a)* pămînt *b)* masă	
60	Defect	

Tabelul 9.2

Notațiile bornelor motoarelor electrice

Nr. crt.	Felul bobinajului	Numărul bornelor	Simbol	
			Început	Sfîrșit
1	Bobinajul statorului mașinilor trifazate	6	*A, B, C*	*X, Y, Z*
2	Idem, legate în stea	3 sau 4	*A, B, C, D*	
3	Idem, legate în triunghi	3	*A, B, C*	
4	Bobinajul principal al mașinilor asincrone trifazate	6	*a, b, c*	*x, y, z*
		3	*a, b, c*	
5	Bobinajul principal al mașinilor asincrone monofazate	2	*A*	*x*
6	Idem, bobinajul de pornire	2	*q*	*p*

Tabelul 9.3

Notații convenționale. Aparate și mașini (STAS 7070-74)

Nr. crt.	Grupa de aparate sau mașini	Simbol	Exemple
1	2	3	4
1	Întreruptoare	*a*	Separatoare, întreruptoare de putere, întreruptoare automate, echipamente pentru pornirea automată etc.
2	Întreruptoare auxiliare	*b*	Comutatoare, butoane de comandă, chei de comandă și separație, fișe de prize, contacte acționate de parametri neelectrici ca microîntreruptoare, limitatoare de cursă, presostate, termostate, relee de curgere și de nivel etc.
3	Contactoare	*c*	Contactoare de putere
4	Contactoare auxiliare	*d*	Contactoare (relee) de comandă, de timp
5	Dispozitive de protecție	*e*	Siguranțe, declanșatoare primare, relee de protecție, relee centrifugale, relee de gaze (Bucholz) etc.
6	Transformatoare de măsură	*f*	Transformatoare de curent, de tensiune etc.
7	Aparate de măsură pentru mărimi electrice	*g*	Ampermetre, voltmetre etc.
8	Avertizoare luminoase și acustice	*h*	Avertizoare optice, relee de semnalizare, contoare numerice, sonerii, hupe, lămpi, de semnalizare etc.
9	Condensatoare și bobine	*k*	Condensatoare, reactanțe inductive, bobine de filtraj etc.
10	Mașini, transformatoare	*m*	Generatoare, motoare, convertizoare, transformatoare, amplificatoare magnetice, mașini amplificatoare etc.
11	Redresoare	*n*	Instalații și aparate redresoare

Tabelul 9.2 (continuare)

1	2	3	4
12	Tuburi electronice, semiconductoare	*p*	Tuburi cu vid sau cu gaz, semiconductoare comandate sau necomandate etc.
13	Rezistoare	*r*	Rezistoare de pornire, cu cîmp, de frînare, potențiometre, șunturi etc.
14	Alte dispozitive de acționare	*s*	Cuplaje și frîne magnetice, electromagneți de ridicare, robinete electromagnetice, servomotoare electrice etc.
15	Dispozitive complexe	*u*	Dispozitive complexe formate din aparate specificate de la pct. 1 la 16. De ex.: instalații încărcare, aparate de încărcat acumulatoare, instalații de comandă sau de apel, amplificatoare electronice precum și toate părțile instalațiilor care nu sînt cuprinse în aparatele specificate de la pct. 1 la 16
16	Elemente logice	*y*	Elemente fundamentale ale sistemelor de comutație statică (TIMP, NICI)
17	Armături mecanice diverse	*v*	Diverse robinete, vase de condensație sau separație, filtre de aer etc.

9.2. REPREZENTAREA SCHEMELOR ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

Fiecare sistem de comandă electric sau electronic conține un număr de aparate și dispozitive, elementele cărora sînt conectate prin conductoare electrice, prin înlănțuire magnetică sau prin legături mecanice. Pentru studierea funcționării sistemelor, pentru montare și exploatare se întocmesc scheme electrice și electronice.

Se utilizează două moduri de reprezentare a schemelor electrice. Primul mod constă în reprezentarea în scheme a elementelor aparatelor și dispozitivelor în circuitele pe care le deservesc, fără a ține seama de amplasarea lor relativă. Aceste scheme se numesc *desfășurate* sau *de principiu*. În aceste scheme diferitele elemente ale unui aparat sînt dispuse în locurile cele mai potrivite din punctul de vedere al clarității și înțelegerii. Elementele aceluiași dispozitiv pot fi amplasate pe desen în diferite părți ale schemei. Pentru a indica aparențele elementelor, acestea se notează cu aceleași simboluri literale sau numerice. Exemplu: contactele unui contactor, a cărui bobină se notează cu *c*, se vor nota de asemenea cu *c*. În cazul cînd există mai multe aparate de același fel, atunci ele vor fi notate cu combinații de litere și cifre (exemplu: *c*1, *c*2 etc.).

Al doilea mod de reprezentare a schemelor electrice constă în indicarea pe schemă a poziției reciproce a aparatelor și dispozitivelor și a legăturilor dintre elementele acestora. Aceste legături sînt reprezentate așa cum sînt plasate ele în realitate; de aceea, chiar și cea mai simplă schemă va conține multe conductoare și un număr mare de încrucișări, ceea ce îngreuiază înțelegerea ei. Acestea sînt schemele de montaj și ele permit fixarea dinainte, pe planșetă, a căilor de cablare și amplasarea aparatelor în tablourile de

comandă. Prin aceste scheme se stabilește în mod precis în ce loc se va executa fiecare conexiune, fără a mai fi necesare alte calcule din partea executantului.

Din cele expuse rezultă că schemele desfășurate întrunesc o serie de avantaje, fiind cele mai indicate pentru proiectare, pentru explicarea funcționării instalației și a verificării acesteia în caz de deranjamente, cît și pentru executarea montajelor în cazul unicatelor sau al utilajelor de serie mică.

Instalația electrică sau electronică a mașinii-unelte conține circuite de acționare și circuite (sisteme) de comandă. Sistemele de comandă au rolul de a comanda și regla sistemele de acționare pentru ca mașina-unealtă să funcționeze într-un mod bine stabilit.

9.3. CONDIȚIILE IMPUSE SISTEMELOR DE COMANDĂ

Pentru o bună funcționare, sistemele de comandă trebuie să îndeplinească o serie de condiții. În cele ce urmează se prezintă cîteva din cele care au cea mai mare importanță.

9.3.1. SIMPLITATEA COMENZII

Simplitatea maximă a sistemelor de comandă este determinată de îndeplinirea următoarelor condiții:

— utilizarea unei cantități minime de aparate, instrumente și dispozitive componente;

— utilizarea unor dispozitive și aparate simple și de același fel;

— utilizarea unei cantități minime de elemente (contacte, bobine, tuburi electronice, conductoare etc.) în sisteme.

Porțiunea din schemă reprezentată în figura 9.1, *a* nu îndeplinește ultima condiție deoarece pentru legarea limitatorului de cursă *b* se folosesc patru conductoare electrice (C_1, C_2, C_3, C_4). Întrucît limitatorul de cursă se plasează pe batiul mașinii iar releul de timp *d* în panoul electric, cele patru conductoare pot avea o lungime apreciabilă.

Din figura 9.1, *b* se observă că prin simpla schimbare a poziției contactului normal închis 3—4 cu contactul d_1 permite reducerea conductoarelor de legătură de la patru la trei (C_1, C_2, C_3).

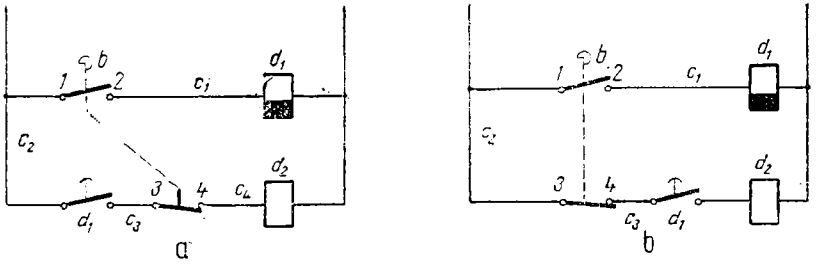


Fig. 9.1. Exemple de realizare a schemelor de comandă:
a — soluție cu patru conductoare; *b* — soluție cu trei conductoare.

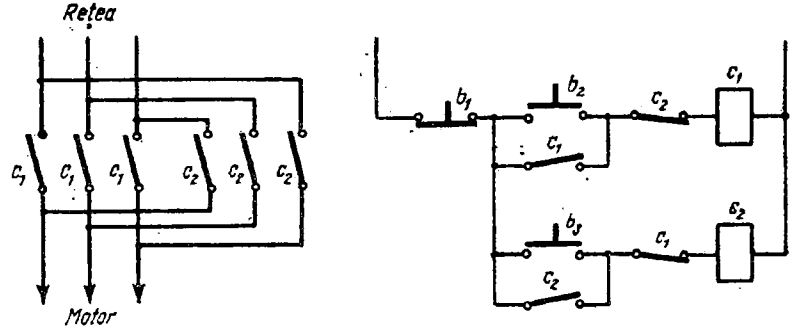


Fig. 9.2. Schemă pentru comanda unui motor reversibil.

9.3.2. SIGURANȚA COMENZII

Siguranța în funcționare a oricărui sistem depinde de siguranța aparatelor, dispozitivelor, instrumentelor sau a elementelor electrice care se utilizează la realizarea sistemului. Dacă elementele componente vor fi robuste și sigure în exploatare și dacă coeficientul de siguranță, admisă la proiectarea și executarea schemei, este mărit, atunci și siguranța instalației este maximă.

Este necesar să se prevadă o protecție corespunzătoare din toate punctele de vedere. Conductoarele de legătură trebuie să fie montate rigid și sigur pe panou pentru preîntîmpinarea străpungerii și a defectelor accidentale.

Siguranța crește dacă se folosesc cele mai raționale sisteme de blocaj electric sau mecanic. Un sistem sigur nu trebuie să permită apariția avariei chiar dacă se defectează unele din aparatele sau subansamblurile sistemului sau dacă operatorul dă o comandă greșită.

Astfel în schema de comandă pentru funcționarea motorului asincron în ambele sensuri (fig. 9.2) sînt luate măsuri care să nu permită cuplarea contactorului *c*1 în timp ce contactorul *c*2 este alimentat de la rețea. Aceasta se realizează prin plasarea contactului normal închis *c*1 în circuitul de alimentare al bobinei contactorului *c*2 și invers a contactului *c*2 în circuitul bobinei contactorului *c*1. În timp ce motorul se rotește într-un sens nu mai este posibilă inversarea sensului decît după ce motorul este deconectat de la rețea (după ce se apasă pe butonul de oprire *b*1) tocmai datorită faptului că la rotirea motorului unul din contactele *c*1 sau *c*2 este deschis. În acest fel se evită scurtcircuitarea a două faze, care ar avea loc în lipsa protecției, la apăsarea din greșeală pe butonul de pornire într-un sens cînd motorul deja funcționează în sens invers.

9.3.3. FLEXIBILITATEA SISTEMULUI ȘI COMODITATEA COMENZII

Un sistem de comandă este cu atît mai flexibil cu cît este mai ușoară trecerea de la un ciclu de lucru al mașinii-unelte la alt ciclu, de la comanda manuală la cea automată sau invers. Comanda este mai comodă cînd poate

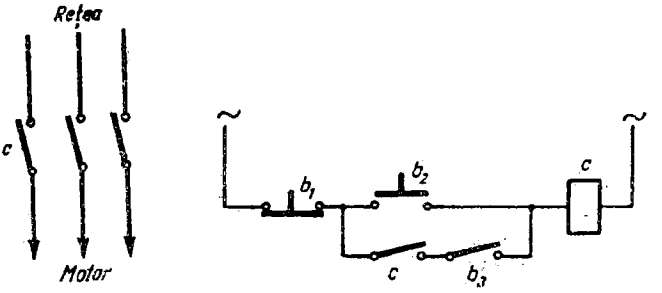


Fig. 9.3. Schemă pentru comanda funcționării de durată și prin impulsuri a unui motor electric.

fi realizată din mai multe puncte ale mașinii și cînd este asigurat un control vizual al funcționării mașinii de către operator.

La proiectarea instalației trebuie avut în vedere ca amplasarea aparatelor de comandă să fie astfel încît operatorul să consume un minim de timp și energie pentru comandă.

Un exemplu de schemă de comandă cu ajutorul căreia se poate realiza comanda acționării unui motor, atît în regim de durată cît și prin impulsuri (intermitent), este arătat în figura 9.3.

Cînd întreruptorul *b*3 este închis se realizează funcționarea continuă a motorului pînă cînd se face oprirea cu butonul *b*1. Prin deschiderea întreruptorului *b*3 motorul va funcționa numai atîta timp cît butonul *b*2 este închis, adică se realizează funcționarea în impulsuri.

9.3.4. CONTROLUL INTEGRITĂȚII SISTEMULUI ȘI COMODITATEA DETERMINĂRII DEFECTELOR

La sistemele electrice de o complexitate mai mare este necesar să se prevadă posibilitatea controlului stării de funcționare a diferitelor elemente și a detectării rapide a defectelor ce apar. Din acest motiv sistemele complicate sînt secționate iar secțiile se alimentează prin siguranțe fuzibile și întreruptoare proprii. În plus se utilizează semnalizatoare luminoase care indică starea de funcționare a diferitelor aparate și dispozitive, apariția sau dispariția tensiunii în diferitele părți ale schemei.

9.3.5. PRECIZIA DE FUNCȚIONARE A SISTEMELOR ÎN CAZUL REGIMULUI DE FUNCȚIONARE NORMALĂ ȘI DE AVARIE

Este necesar ca sistemul electric sau electronic să asigure în orice regim o succesiune riguroasă a funcționării dispozitivelor și aparatelor din schemă. Trebuie ca schemele să fie astfel concepute încît să se elimine posibilitatea formării așa-numitelor circuite false prin arderea bobinelor releelor, lipirea contactelor, întreruperea conductoarelor etc.

De exemplu, în schema pentru comanda unui motor asincron reversibil din figura 9.4, este posibilă formarea unor circuite false atunci cînd se între-

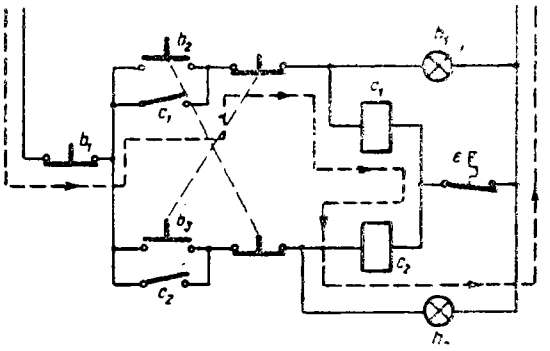


Fig. 9.4. Schemă de comandă cu posibilitatea de formare a unor circuite false.

rupe contactul *e* al releului termic care permite uneori menţinerca în stare de funcţionare a bobinelor contactoarelor *c*1 sau *c*2. Un circuit fals format după întreruperea lui *e* este indicat în schemă prin linie întreruptă. Deci, chiar dacă curentul absorbit de motor este mai mare decît cel nominal, motorul nu se opreşte deoarece contactorul *c*1 nu se deconectează cu toate că contactul *e* este deschis. Neajunsul semnalat se poate elimina foarte simplu prin plasarea contactului releului termic în serie cu butonul de oprire *b*1.

9.3.6. UTILIZAREA JUDICIOASĂ A APARATAJULUI ÎN SISTEMELE DE COMANDĂ

Utilizarea corectă a aparatajului şi dispozitivelor în sistemele de comandă nu se rezumă numai la respectarea valorilor nominale ale curenţilor tensiunilor şi a altor parametri ci şi la asigurarea concomitentă a tuturor condiţiilor impuse de constructorul aparatajului.

Astfel, un contactor de curent continuu este corect utilizat dacă în primul rînd se respectă toate caracteristicile sale nominale: tensiunea nominală, curentul nominal de durată pentru contactele principale, pentru contactele auxiliare şi pentru bobină, frecvenţa anclanşărilor impusă de constructor, la deschiderea circuitului bobinei să nu apară supratensiuni care depăşesc valorile admise în schemă, să nu fie legate în paralel bobinele contactoarelor de diferite puteri, fapt care poate duce la lipsa preciziei acţionării contactoarelor la deschidere, contactorul să fie montat într-o poziţie normală, să nu fie supus la vibraţii puternice şi să fie reglat corect, să fie asigurate condiţiile normale de răcire etc.

Un limitator de cursă este corect utilizat dacă curentul şi puterea de conectare nu depăşesc valorile admise, dacă cursa tijei este în limitele stabilite şi dacă este montat şi reglat corect.

9.3.7. COMODITATEA MONTĂRII, EXPLOATĂRII ŞI REPARĂRII SISTEMELOR DE COMANDĂ

În general, montarea şi reglarea aparatajului din schemele de comandă constituie un proces complex. Din această cauză unele părţi ale sistemelor complicate sînt asamblate şi reglate în laboratoare specializate, urmînd ca apoi să fie aduse la locul de instalare şi montate împreună cu motoarele electrice pe maşina-unealtă.

Montarea separată a panourilor blocurilor electrice trebuie realizată astfel încît așezarea conductoarelor să se facă cu ușurință; de aceea, fiecare unitate are o placă cu contacte la care se efectuează legăturile exterioare. Această placă se execută cu contacte sub formă de borne cu cleme de șir pentru unitățile electrice. Pentru unitățile electronice plăcile cu contacte sînt constituite astfel încît legăturile exterioare se efectuează prin lipire.

Sistemele de comandă au nevoie de reparații fie preventive, fie în caz de apariție a unor avarii. De aceea, trebuie luate măsuri ca aceste reparații să se poată executa comod. În acest scop este necesar ca aparatajul să fie astfel amplasat încît piesele care se uzează mai repede să poată fi ușor înlocuite. Comutatoarele de reglaj, dispozitivele de acordare ale releelor și ale altor aparate, reostatele de acordare ale blocurilor electronice etc. trebuie să fie ușor accesibile pentru punerea la punct.

Este foarte util ca sistemele de comandă să fie alcătuite din blocuri și panouri de același tip. În acest fel exploatarea sistemului este mai simplă iar înlocuirea blocurilor defecte se poate realiza ușor, din blocurile de rezervă.

9.3.8. GABARITE ȘI SUPRAFEȚE MINIME DE DESERVIRE LA UN COST REDUS AL INSTALAȚIEI

Pentru a rezulta gabarite minime la instalația electrică și electronică a mașinii-unelte este necesară utilizarea unor aparate și dispozitive avînd dimensiuni mici și realizarea unui montaj rațional. Printr-o amplasare judicioasă a elementelor în panoul de comandă se poate micșora atît gabaritul instalației cît și spațiul de deservire al acesteia.

Adesea, tendința de micșorare a gabaritelor se opune însă condiției de a avea cheltuieli și suprafețe de deservire minime. De aceea o soluție corectă, care să satisfacă cerințele prezentului paragraf, poate fi găsită în fiecare caz concret prin compararea cîtorva variante.

9.4. ÎNTOCMIREA CICLOGRAMEI DE FUNCȚIONARE PENTRU MAȘINA-UNEALTĂ

Reprezentarea succesiunii fazelor de lucru ale unei mașini-unelte, de la pornire pînă la oprire în starea inițială, se numește *ciclogramă* și poate fi verbală sau scrisă.

Ciclograma verbală constă în enumerarea verbală a fazelor de lucru ale mașinii și se utilizează în cazurile cînd există puține elemente de comandă.

Ciclograma scrisă poate fi întocmită sub forma descriptivă sau tabelară. În lucrarea de față se va utiliza ciclograma tabelară care permite întocmirea cu ușurință a schemei electrice desfășurate și în același timp este compactă. În ciclograma tabelară pe verticală se trec fazele ce le efectuează diferitele organe ale mașinii-unelte, iar pe orizontală apar toate elementele de acționare (motoare electrice, electromagneți, cuplaje electromagnetice). Prin hașuri se indică faza cînd elementul de acționare funcționează. Cînd rubrica respectivă este nehașurată înseamnă că elementul de acționare este deconectat de la rețeaua electrică.

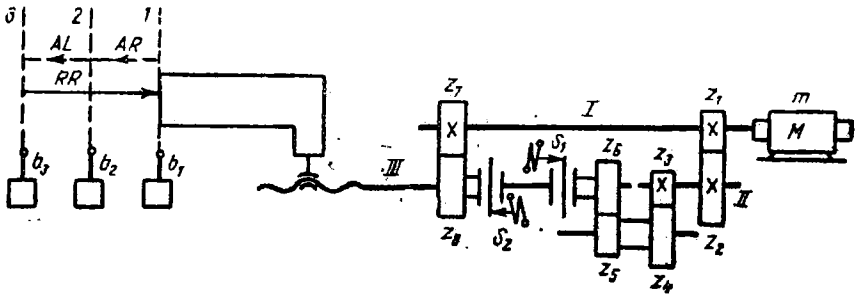


Fig. 9.5. Schema cinematică de avans a unei sănii.

Exemplu. Să se întocmească ciclograma de funcționare a saniei unei mașini-unelte acționate în mișcare de translație de un motor electric asincron cu posibilitate de rotire în două sensuri.

Schema lanțului cinematic de avans pentru această sanie este reprezentată în figura 9.5. Ciclul de lucru al saniei este:

— apropierea rapidă (deplasarea în poziția *1* și *2*); motorul *m* se rotește în stînga iar cuplajul *s*2 este cuplat;

— avans de lucru (deplasare din poziția *2* în *3*); motorul *m* se rotește în continuare în stînga, cuplajul *s*1 este cuplat iar *s*2 decuplat;

— retragere rapidă (deplasare din poziția *3* în *1*); motorul *m* se rotește în dreapta iar cuplajul *s*2 este cuplat în timp ce *s*1 este decuplat.

Pentru realizarea acestui ciclu se întocmește ciclograma din figura 9.6, care indică sugestiv și într-un spațiu mult mai restrîns ciclul de lucru pentru sania mașinii-unelte.

9.5. ÎNTOCMIREA SCHEMEI ELECTRICE DESFĂȘURATE

9.5.1. NOTAȚII UTILIZATE ÎN SCHEMELE ELECTRICE

Schemele electrice sînt constituite din două circuite distincte:

— circuite de forță (de obicei trifazate);

— circuite de comandă (monofazate).

În circuitele de forță sînt conectate elementele de acționare (motoare, electromagneți trifazați), iar în circuitele de comandă elementele necesare comenzii.

Element acționat / Faza	M stînga	M dreapta	S_1	S_2
Apropiere rapidă (AR)	▨			▨
Avans de lucru (AL)	▨		▨	
Retragere rapidă (RR)		▨		▨

Fig. 9.6. Ciclograma mecanismului de avans a saniei din figura 9.5.

Circuitele de comandă sînt legate între o fază (*R*, *S* sau *T*) și nulul *O*, utilizînd sau nu transformatorul coborîtor de tensiune. În majoritatea cazurilor circuitele de comandă sînt reprezentate așa cum sînt în realitate, adică derivate din circuitele de forță. Există însă și situații în care cele două circuite se reprezintă separat sau se reprezintă numai circuitele de comandă.

Pentru o mai bună înțelegere a funcționării schemei și găsirea ușoară a contactelor circuitelor se vor nota cu numere, începînd cu circuitele de forță și continuînd cu cele de comandă.

Identificarea ușoară a legăturilor din schema desfășurată în instalația fizică se poate realiza prin notarea cu numere a tuturor nodurilor din schemă.

9.5.2. ALIMENTAREA CIRCUITELOR DE COMANDĂ

În circuitele de comandă sînt conectate bobinele releelor sau bobinele unor aparate de conectare mecanică, hidraulică sau pneumatică (electromagneți, cuplaje electromagnetice, ventile etc.). În comanda electrică a mașinilor-unelte cel mai frecvent sînt utilizate releele cu contacte. În ultima perioadă se utilizează însă tot mai mult elementele de comandă fără contacte, în special la mașinile cu comandă numerică pentru transmiterea informațiilor primite de la purtătorul de program și de la traductoarele de deplasare. În cazul unui număr mic de aparate în sistem, alimentarea cu curent se realizează de obicei direct de la rețeaua electrică (între o fază și nul), iar atunci cînd sistemul de comandă este mai complicat — cu ajutorul unui transformator de coborîre.

Tensiunea de fază are valoarea de 220 V. Utilizarea acestei tensiuni are avantajul că micșorează nomenclatorul bobinelor aparatelor privind tensiunea de alimentare și ușurează exploatarea instalațiilor electrice ale mașinilor-unelte. În multe situații se utilizează tensiunea de 220 V obținută printr-un transformator cu raportul de transformare 1:1. Acest mod de obținere a tensiunii de comandă are avantaje deoarece dispare conductorul neutru al rețelei generale de alimentare și astfel scade și pericolul de electrocutare. La utilizarea tensiunii directe dintre fază și nul există posibilitatea de electrocutare a persoanelor venite în contact cu partea sub tensiune din schemă și masele metalice ale mașinii-unelte legate la pămînt. La folosirea unui transformator, electrocutarea este posibilă numai la atingerea concomitentă a celor două fire de ieșire de la transformator.

Prin utilizarea unui transformator de coborîre se pot obține tensiuni mai mici decît 220 V. În țara noastră se utilizează tensiunile de 24, 48, 110. Pentru coborîrea tensiunii este obligatorie utilizarea transformatoarelor cu înfășurare primară separată de cea secundară. Utilizarea autotransformatoarelor, a coborîtoarelor de tensiune cu rezistențe sau a altor dispozitive, care nu au izolarea galvanică de sursa de curent, se interzice.

Alegerea tensiunii rețelei de comandă cu transformatoare coborîtoare este mai complicată, criteriile principale fiind complexitatea aparaturii electrice, numărul motoarelor electrice comandate, numărul de bobine și contacte din circuitele de comandă. În mod frecvent se utilizează tensiunile de 110 V și 220 V. Tensiunile de 24 și 48 V se utilizează atunci cînd se impun condiții speciale din punctul de vedere al tehnicii securității (de exemplu cînd există contacte neacoperite).

Deoarece la unele mașini-unelte în sistemele de comandă se utilizează un număr mare de contacte legate în serie și lungimi mari de cabluri, este necesar să se țină seamă la calculul tensiunii de căderile de tensiune ce au loc în contacte și cabluri de legătură pentru a rezulta o funcționare sigură a aparaturii.

Tensiunea nominală poate fi determinată cu relația

$$U_N = \sqrt{6{,}21\, P(R_K + R_C)},$$

în care:

P este puterea electromagneților aparatajului din circuit, în VA;

R_K — rezistența contactelor legate în serie cu bobina aparatelor de putere, P, în Ω;

R_C — rezistența cablului, în Ω.

Deoarece R_K și R_C sînt în general mici (exemplu la 44 contacte $R_K = 1{,}1$ Ω și $R_C = 1{,}86$ Ω pentru cablul cu secțiune de 0,75 mm² în lungime de 75 m), din relație se observă că o mare importanță o are puterea aparatului conectat. În general pentru $P \leqslant 5$ VA rezultă $U_N \leqslant 20$ V, pentru $P \leqslant (130—150)$ VA, $U_N < 100$ V, iar pentru $P = (300 \ldots 800)$ VA, $U_N = (100 \ldots 200)$ V.

Asupra stabilității funcționării sistemelor de comandă cu relee cu contacte influențează și oscilarea tensiunii rețelei. Conform standardelor, tensiunea ce trebuie să ajungă la aparat trebuie să fie egală cu 0,95. . .1,1 U_N, iar aparatul trebuie să lucreze stabil la tensiunea de 0,85. . .1,1 U_N.

9.5.3. PROIECTAREA CIRCUITELOR DE COMANDĂ

Fiecare circuit de comandă este destinat de regulă alimentării unei bobine a electromagnetului aparatului electric.

Pentru legarea bobinei la rețea se pot utiliza în principiu atît elemente de comandă cu revenire automată (butoane, limitatoare de cursă etc.), cît și elemente care necesită o nouă acționare pentru a reveni în poziția inițială (întreruptoare, comutatoare etc.). În practică se întîlnește mai frecvent prima situație deoarece, în acest caz, pe lîngă faptul că se poate realiza o comandă cu efort mic, se obține și o protecție în cazul cînd tensiunea de alimentare se întrerupe pentru o perioadă și apoi revine.

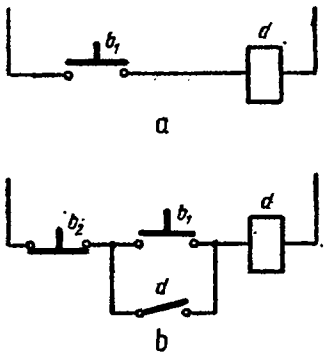


Fig. 9.7. Scheme pentru legarea la rețea a bobinei unui contactor cu ajutorul unui buton:
a — legare fără contact de memorie;
b — legarea cu contact de memorie.

În circuitul de comandă al bobinei *d* (fig. 9.7, *a*) s-a prevăzut butonul *b*1 pentru legarea bobinei la rețea.

Prin apăsarea pe buton contactul normal deschis al acestuia se închide și bobina *d* este alimentată la rețea. Cînd apăsarea încetează contactul se deschide și bobina *d* nu va mai fi alimentată.

În cazul cînd este necesară menținerea alimentării bobinei și după ce butonul nu mai este acționat, în paralel cu contactul butonului *b*1 se leagă un contact normal deschis al releului acționat de bobina *d* (fig. 9.7, *b*). Contactul se va nota tot cu *d* și el se va închide la alimentarea bobinei *d* de la rețeaua electrică. Contactul *d* poartă denumirea de *contact de automenținere* sau *contact de memorizare*.

Pentru întreruperea alimentării bobinei *d* este necesar un buton cu contact normal închis legat în serie cu bobina respectivă. Cînd se acționează butonul *b*2 se întrerupe alimentarea bobinei *d* și toate contactele acestui releu vor reveni în poziția normală. Prin urmare, contactul normal deschis *d* se va deschide și va face posibilă menținerea întreruperii alimentării bobinei *d* și după încetarea acțiunii asupra butonului *b*2.

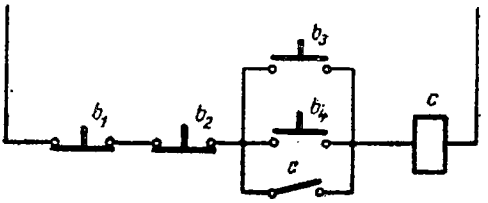


Fig. 9.8. Schemă pentru conectarea și deconectarea de la rețea a unei bobine din mai multe locuri.

În cazul cînd sînt necesare conectarea și deconectarea de la rețea a unei bobine de releu din mai multe locuri (caz frecvent întîlnit la mașinile-unelte grele) se utilizează circuitul din figura 9.8. Se observă că la acționarea oricărui buton de pornire *b*3 sau *b*4, bobina *c* este alimentată, închizîndu-se astfel contactul *c* al releului care asigură alimentarea bobinei chiar după ce încetează acțiunea butonului *b*3 sau *b*4. Oprirea se poate realiza prin acționarea fie a butonului *b*1 fie a lui *b*2.

Prin urmare, butoanele de conectare a unui element la rețea se leagă întotdeauna în paralel iar butoanele de oprire în serie.

Comanda alimentării de la rețea a unui element de execuție numai atîta timp cît se acționează butonul de pornire, fără să se stabilească circuitul de automenținere (pornirea în impulsuri sau de reglare), se întîlnește frecvent în instalațiile electrice ale mașinilor-unelte pentru a se putea realiza reglarea mașinii. Este însă necesar ca după executarea reglajului să existe totuși o posibilitate de stabilire a comenzii de durată (cu automenținere).

Un asemenea circuit este dat în figura 9.9. Cînd întreruptorul *b* este deschis, alimentarea bobinei releului intermediar *d* se realizează numai atîta timp cît butonul *b*2 este apăsat.

Închizînd întreruptorul *b* la apăsarea pe butonul *b*2 se stabilește circuitul *01* și deci se alimentează bobina releului *d*, închizîndu-se contactul *d* care stabilește circuitul de automenținere. Alimentarea releului *d* se va întrerupe prin acționarea butonului *b*1.

Comanda în impulsuri se poate realiza și cu schema din figura 9.10. Aceasta se pretează în special cînd este necesar să se comande acționarea mai multor relee sau contactoare de la același buton.

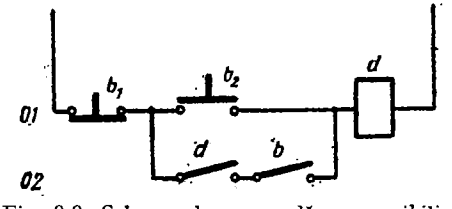


Fig. 9.9. Schema de comandă cu posibilitate de selecție a comenzii de durată sau prin impulsuri.

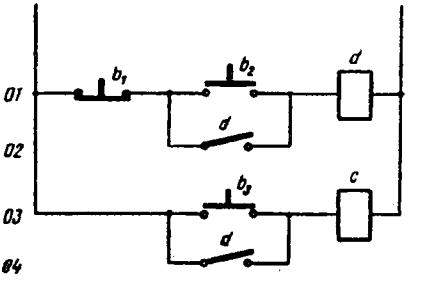


Fig. 9.10. Schemă pentru comanda selectivă a două circuite.

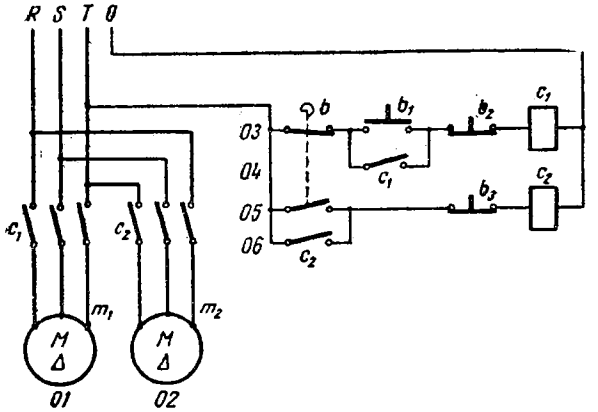


Fig. 9.11. Schemă de pornire simultană a două motoare prin acționarea unui buton și comandă prin limitator de cursă.

Comanda acționării de durată pentru contactorul *c* se realizează prin apăsarea butonului *b*2 din circuitul *01*. Memorizarea comenzii (circuitul *02*) și închiderea circuitelor *04* se realizează prin contactele *d*.

La funcționarea în impulsuri se acționează butonul *b*3. În acest caz nu mai există automenținere și deci contactorul *c* va fi alimentat de la rețea numai atîta timp cît se apasă pe butonul *b*3.

Ca elemente de conectare în afara butoanelor se mai pot utiliza limitatoare de cursă. Deoarece limitatoarele sînt acționate de came așezate chiar pe organele mașinii-unelte, rezultă că prin intermediul lor se poate realiza automatizarea unui anumit ciclu de lucru al mașinii (de exemplu, comanda automată a pornirii motorului *m*2 în momentul opririi motorului *m*1, fig. 9. 11).

Pentru legarea la rețea a motorului *m*1 se utilizează contactorul *c*1 iar pentru motorul *m*2 contactorul *c*2 (fig. 9.11). Prin acționarea manuală a butonului *b*1 se alimentează la rețea bobina contactorului *c*1 și se închid contactele *c*1 din circuitul *03*, legînd la rețea motorul asincron *m*1. În același timp se închide și contactul *c*1 din circuitul *03* realizînd menținerea legării la rețea a bobinei *c*1 și după încetarea acțiunii asupra butonului *b*1. Cînd organul pus în mișcare de motorul *m*1 ajunge într-o anumită poziție acționează limitatorul de cursă deschizînd contactul normal închis *b* (circuitul *03*) și închizînd contactul normal deschis *b* (circuitul *05*). Prin aceasta se deconectează de la rețea bobina contactorului *c*1 alimentîndu-se bobina contactorului *c*2. Astfel se oprește motorul *m*1 (se deschid contactele *c*1) și se pornește motorul *m*2 (se închid contactele *c*2). Memorarea comenzii se realizează cu ajutorul contactului *c*2 din circuitul *06*.

În acest mod, cu ajutorul unui limitator de cursă, se poate realiza oprirea automată a motorului *m*1 și pornirea motorului *m*2.

O interacțiune automată a două elemente se poate realiza și prin utilizarea contactelor auxiliare ale contactoarelor (sau releelor intermediare) a releelor de timp sau a releelor de viteză.

Astfel, pentru pornirea concomitentă a două motoare *m*1 și *m*2 se poate utiliza schema de comandă din figura 9.12.

Prin acționarea butonului *b*2 se conectează la rețea contactorul *c*1 închizîndu-se toate contactele normal deschise ale acestuia deci și contactul *c*1 (din circuitul *05*) care conectează la rețea contactorul *c*2 ce pune în funcțiune motorul *m*2.

Oprirea motorului *m*2 se poate realiza prin acționarea butonului de oprire *b*3.

Prin interacțiunea diferitelor aparate de comandă și conectare se ajunge, uneori, la limitarea posibilităților de intervenție separată.

Pentru a fi posibilă alegerea între starea de comandă individuală și starea de funcționare condiționată este nevoie de intercalarea unor comutatoare de selecționare sau relee intermediare.

Astfel, pentru realizarea atît a pornirii concomitente cît și a pornirii și opririi separate a motorului $m1$ sau a motorului $m2$ se poate utiliza schema de comandă din figura 9.13. Prin acționarea butonului $b2$ se conectează la rețea bobina releului intermediar d, închizîndu-se contactele d din circuitul *06* și din circuitul *09*, care conectează la rețea bobinele contactoarelor $c1$ și $c2$ cu ajutorul cărora se pornește motorul $m1$ și respectiv $m2$. După încetarea acționării butonului $b2$, releul d se deconectează de la rețea și deci contactele d se deschid, însă contactele $c1$ și respectiv $c2$ fiind închise, bobinele contactoarelor $c1$ și $c2$ rămîn alimentate. Pentru deconectarea contactoarelor $c1$ și $c2$ se apasă pe butoanele $b3$ respectiv $b5$. Deconectarea simultană a ambelor contactoare $c1$ și $c2$ (oprirea ambelor motoare) se realizează prin acționarea butonului de oprire $b1$. Se observă că este posibilă și conectarea la rețea separat a contactorului $c1$ respectiv $c2$ (pornire motor $m1$ sau motor $m2$) prin acționarea fie a butonului de pornire $b4$ fie a butonului $b6$. Schema din figura 9.13 poate să fie extinsă pentru comanda mai multor motoare

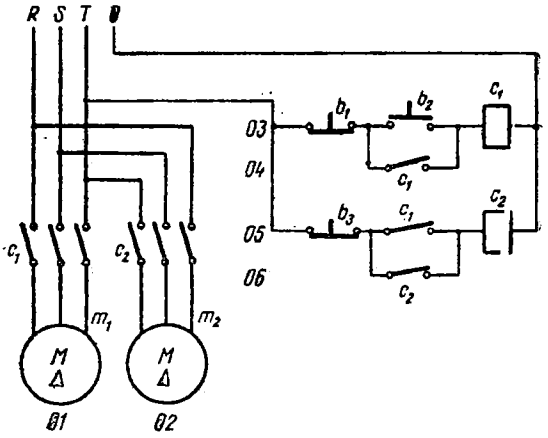


Fig. 9.12. Schemă pentru pornirea simultană a două motoare.

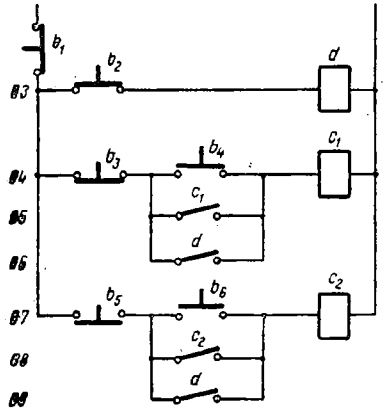


Fig. 9.13. Schemă pentru pornirea selectiv-concomitent sau separată a două motoare electrice.

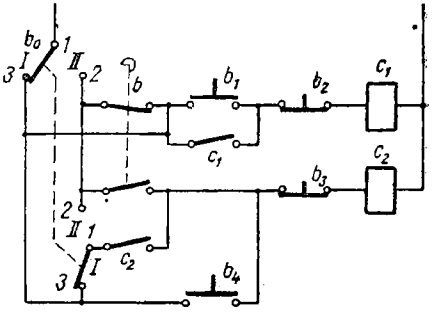


Fig. 9.14. Schemă de comandă selectivă a două contactoare.

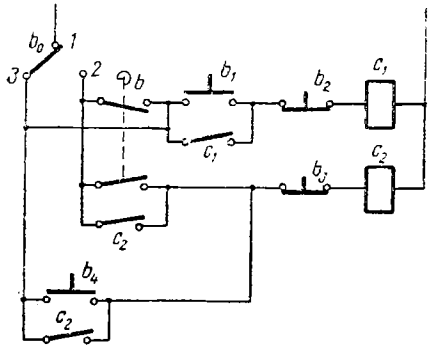


Fig. 9.15. Schemă pentru selectarea modului de comandă folosind un comutator.

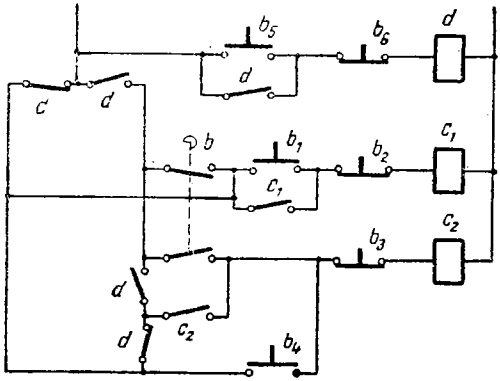


Fig. 9.16. Schemă de utilizare a unui releu intermediar pentru realizarea unei comenzi selective.

prin adăugarea unor circuite identice cu circuitul *04...06* sau *07...09* pentru fiecare motor acționat.

Un exemplu de alegere între starea de funcționare condiționată și cea individuală, prin utilizarea unui comutator b_0, este dat în schema din figura 9.14. Astfel, cînd comutatorul b_0 se găsește pe poziția *II* (contactele *1—2* închise) funcționarea este aceeași ca a schemei din figura 9.11. Prin trecerea comutatorului b_0 în poziția *I* (contactele *1—3* închise) este posibilă pornirea separată a fiecărui motor în parte.

Același lucru se poate realiza prin utilizarea unui simplu comutator (fig. 9.15) sau a unui releu intermediar (fig. 9.16).

În acest ultim caz funcționarea condiționată a celor două motoare se va realiza cînd în prealabil se acționează butonul *b5* urmat de acționarea butonului *b1*. Utilizarea unui releu intermediar se justifică mai ales atunci cînd este necesară închiderea sau deschiderea simultană a mai multor circuite.

În circuitele schemelor de comandă este necesar în multe cazuri să se prevadă blocaje electrice pentru a împidica comanda simultană, nedorită a unor relee sau contactoare. O astfel de blocare este necesară la comanda inversării sensului la motoarele electrice asincrone pentru a înlătura scurtcircuitarea a două faze.

În afara acestor blocaje, în schemele electrice ale mașinilor-unelte se întîlnesc, de asemenea, blocaje funcționale de condiționare și excludere. Astfel,

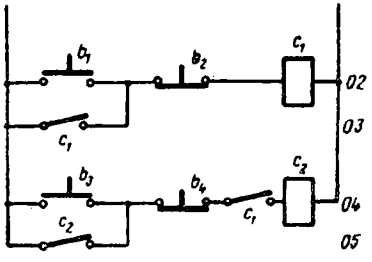


Fig. 9.17. Schemă de condiționare a pornirii unui motor.

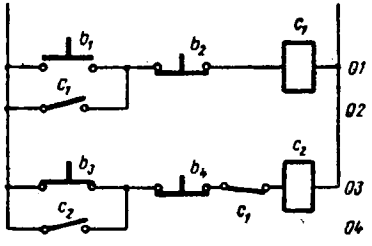


Fig. 9.18. Schemă de blocare a funcționării unui contactor.

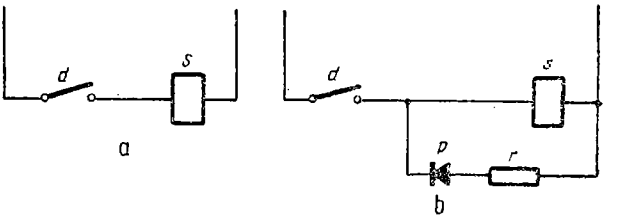


Fig. 9.19. Circuite folosite pentru alimentarea unor electromagneți monofazați:
a — de curent alternativ; *b* — de curent continuu.

la mașinile-unelte cu ungere centralizată este necesar ca să se poată porni motoarele de acționare numai după ce a pornit pompa pentru ungere. Un exemplu este dat în schema din figura 9.17, unde motorul *m*2 poate fi pornit numai după ce motorul *m*1 (contactorul *c*1 anclanșat) funcționează, deoarece numai atunci contactul *c*1 din circuitul *04* este închis. Contactul acesta se numește și *contact de condiționare.*

Blocajele de excludere sînt de asemenea necesare în schemele de comandă a mașinilor-unelte. Astfel, la unele mașini-unelte la care mișcarea de avans de lucru și deplasarea rapidă se realizează cu motoare separate trebuie să se ia măsuri ca funcționarea celor două motoare să se excludă. În schema din figura 9.18 se vede că atunci cînd contactorul *c*1 este legat la rețea se exclude posibilitatea funcționării contactorului *c*2 întrucît contactul normal închis *c*1 din circuitul *03* este deschis. Numai cînd contactorul *c*1 este deconectat de la rețea se poate alimenta bobina contactorului *c*2.

Blocajele de condiționare se realizează în general prin contacte normal deschise, iar cele de excludere prin contacte normal închise.

Pentru alimentarea de la rețea a electromagneților monofazați se utilizează circuitele din figura 9.19. Circuitul din figura 9.19, *a* este destinat alimentării electromagneților de curent alternativ. Conectarea electromagnetului *s* la rețea se face prin închiderea contactului *d*. Pentru electromagneți de curent continuu se utilizează circuitul din figura 9.19, *b*. Rezistorul *r* și dioda *p* au rolul de a micșora fenomenele de autoinducție care se produc la închiderea și deschiderea circuitului în care se găsește electromagnetul *s*.

9.5.4. PROTECȚIA ELEMENTELOR DE ACȚIONARE ȘI A CIRCUITELOR ELECTRICE SAU ELECTRONICE

În circuitele electrice sau electronice este necesar să se prevadă elemente de protecție, care pe de o parte să protejeze motoarele electrice contra încălzirii excesive datorită supracurenților și pe de altă parte să asigure rețeaua de alimentare și circuitele schemei contra scurtcircuitelor.

De asemenea, trebuie să se ia măsuri împotriva deteriorărilor mecanice ale elementelor schemei și măsuri pentru asigurarea unei protecții corespunzătoare a muncii. Aceste ultime măsuri sînt destinate evitării electrocutărilor și ele formează obiectul unor standarde de norme cu caracter de lege, trebuind să fie aplicate chiar dacă în documentația de proiectare nu au fost incluse măsuri speciale.

Protecția motoarelor contra supracurenților de durată se realizează cu ajutorul releelor termice cu lamele bimetalice. Aceste relee se execută în general trifazate și se leagă în cele trei faze de alimentare a motorului.

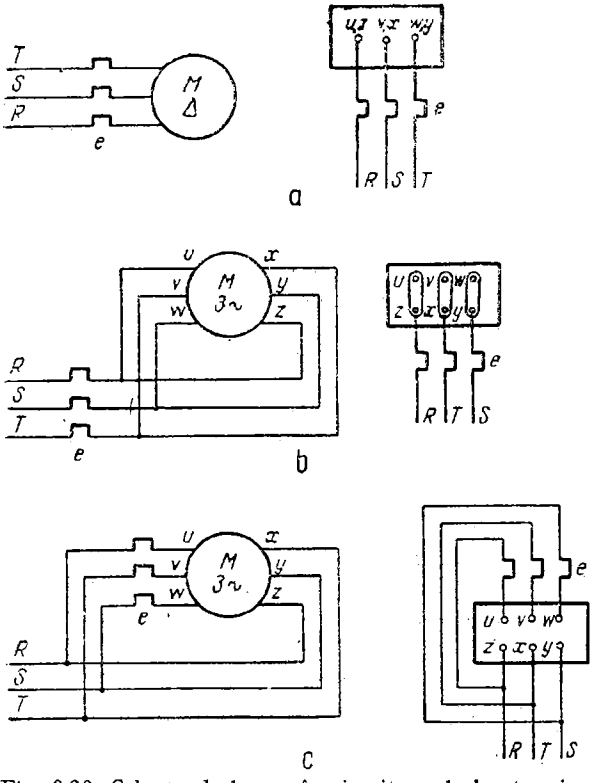


Fig. 9.20. Scheme de legare în circuit a releelor termice pentru protecția motoarelor la suprasarcină de durată: *a* — prin conectare directă în circuitul de alimentare; *b* — prin legarea releului termic între borne și fazele rețelei de alimentare; *c* — prin legarea releului termic la bornele *U, V, W*.

Cînd motorul are trei borne de intrare, adică este deja conectat în stea sau triunghi, releul termic se conectează în circuitele de alimentare așa cum se vede din figura 9.20, *a*. În cazul cînd motorul posedă șase borne de intrare (capetele celor trei înfășurări de fază) există două posibilități de legare a releului termic. O primă posibilitate constă în conectarea în prealabil a motorului în triunghi sau stea (după necesități) și plasarea releului termic pe cele trei fire de legătură dintre borne și fazele *RST* (fig. 9.20, *b*). Cea de-a doua posibilitatea constă în legarea releului termic la bornele *U, V, W* și apoi conectarea motorului în triunghi sau stea (fig. 9.20, *c*).

Ultima variantă este mai avantajoasă deoarece se asigură o protecție deplină a motorului chiar și în cazul cînd se întrerupe o fază iar motorul nu funcționează la întreaga putere, protecție ce nu se poate realiza prin schema de conectare a releului termic din figura 9.20, *b*. Se observă însă că în cazul variantei *c* sînt necesare șase conductoare în loc de trei cît se utilizează la varianta *b*.

Pentru a evita aceasta se poate lega totuși releul termic conform variantei *b*, însă se va regla la curentul efectiv cerut de motor la funcționarea de regim și nu la curentul nominal indicat pe plăcuța motorului. În acest fel releul va lucra satisfăcător chiar dacă se întrerupe o fază.

În schemele de pornire stea-triunghi releul termic se va lega conform variantei *c* deoarece se folosesc în mod obligatoriu șase conductoare pentru alimentarea motorului.

Pentru întreruperea alimentării motorului electric la apariția unor suprasarcini de durată contactul *e*3 al releului termic se așază în schema de comandă așa cum se vede în figura 9.21. La creșterea curentului peste valoarea reglată contactul *e*3 se deschide și întrerupe alimentarea bobinei contactorului *c*, deschizîndu-se contactele normal deschise *c* care întrerup alimentarea motorului *m*.

Protejarea motoarelor împotriva distrugerilor prin scurtcircuit se realizează cu ajutorul siguranțelor fuzibile. O siguranță fuzibilă bine dimensionată se

topește atît de repede încît valorile maxime ale curentului de scurtcircuit nu se pot instala. Nu se recomandă ca în loc de siguranțe fuzibile să se utilizeze relee electromagnetice deoarece acestea posedă o anumită inerție, astfel încît pentru o perioadă de ordinul milisecundelor se instalează curentul de scurtcircuit la întreaga sa valoare, putînd provoca sudarea contactelor aparatelor de comandă și conectare. Releele electromagnetice pot fi folosite eventual suplimentar, ca relee de suprasarcină.

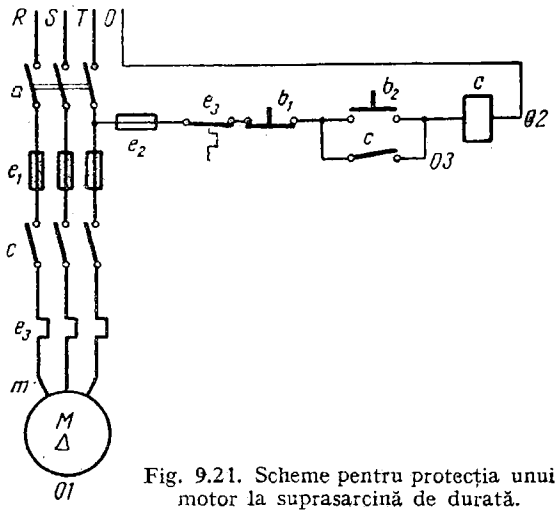


Fig. 9.21. Scheme pentru protecția unui motor la suprasarcină de durată.

Cu siguranțe de scurtcircuit se protejează fiecare circuit mai important. Astfel, se leagă siguranțe fuzibile în circuitul de comandă și circuitele de alimentare ale transformatoarelor. În acest ultim caz se asigură cu siguranțe fuzibile atît circuitul secundar cît și cel primar, deoarece siguranțele din primar nu asigură și secundarul pe scurtcircuit.

În general se obișnuiește să se utilizeze, în afară de siguranțele pentru consumatorii principali, și un rînd de siguranțe generale pe ramurile principale. În schema din figura 9.22 poate fi observat acest lucru.

Curentul nominal pentru siguranțele fuzibile se determină în mod aproximativ prin calcul, împărțind puterea exprimată în VA la tensiunea circuitului exprimată în volți. În cazul motoarelor unde curentul de pornire este de cîteva ori mai mare decît curentul nominal, siguranțele fuzibile se aleg din tabele. În aceste tabele sînt conținute valori ale intensității siguranțelor în funcție de puterea motorului la durata de 5 s a demarajului. Pentru motoarele cu durata demarajelor peste 10 s, siguranțele fuzibile se vor dimensiona la întreaga valoare a curentului de pornire, adică de circa 7 ori curentul nominal al motorului respectiv.

În schemele de comandă ale unor mașini-unelte la care ar putea surveni deteriorări mecanice în cazul cînd limitatorul de cursă pentru inversarea sensului mișcării de translație nu funcționează, se prevede un limitator de cursă suplimentar de siguranță, care să garanteze oprirea automată cînd se ajunge la limita admisă.

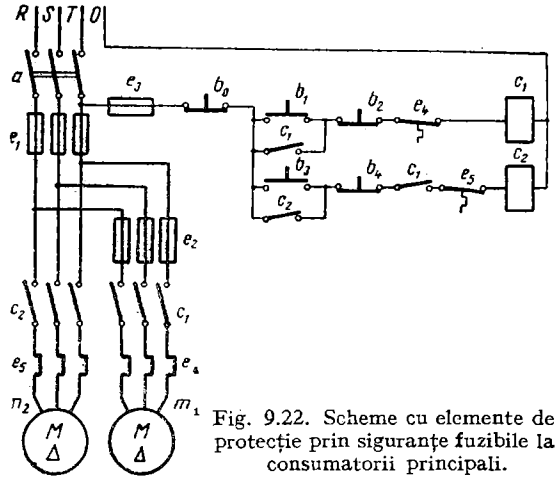


Fig. 9.22. Scheme cu elemente de protecție prin siguranțe fuzibile la consumatorii principali.

Măsurile de protecție a muncii sînt necesare pentru a face imposibilă apariția tensiunii de atingere și de a împiedica contactul accidental al omului cu circuitele de lucru ale instalației electrice. Mijlocul cel mai eficace de protecție contra tensiunilor de atingere este legarea la pămînt a tuturor părților metalice ale mașinii-unelte ce nu fac parte din instalația electrică (v. și cap. 12).

Pentru împiedicarea contactului accidental al omului cu părțile aflate sub tensiune, pe lîngă măsurile obișnuite de capsulare și închidere a aparatajului din instalația electrică, se mai pot lua unele măsuri suplimentare, și anume: amplasarea la dulapurile cu aparatajul electric a unor întreruptoare care asigură scoaterea de sub tensiune la deschiderea ușilor sau se prevede la dulap un sistem mecanic de închidere care nu poate fi deschis decît după întreruperea curentului.

La unele mașini-unelte este necesar să se ia măsuri care să nu permită pornirea mașinii dacă unele elemente ca apărători sau uși, la diferite mecanisme nu sînt închise. În aceste cazuri se prevăd întreruptoare care permit conectarea instalației de comandă la rețea numai după ce aceste elemente se găsesc în poziția normală de funcționare. Un exemplu îl constituie strungul SRO-25, la care mișcarea de la motorul principal nu poate fi transmisă mai departe (nu se cuplează cuplajele electromagnetice din cutia de viteze și de avansuri) dacă apărătoarea strungului nu este închisă.

9.5.5. ELEMENTE DE SEMNALIZARE ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

În instalațiile electrice și electronice de comandă sînt necesare elemente de semnalizare pentru a indica dacă anumite aparate sau porțiuni din instalații se află sau nu sub tensiune. În acest scop se utilizează de obicei lămpi de semnalizare care indică starea oprit sau pornit. Semnalizatoarele acustice sînt folosite numai la semnalizarea apariției unor defecte în funcționarea instalației electrice.

Diferite posibilități de amplasare a lămpii de semnalizare sînt indicate în figura 9.23. În variantele *a*. . .*d* conectarea la rețea a contactorului *c* este indicată de aprinderea lămpii *h* în cazul cînd se utilizează:

— lampă cu tensiune de alimentare egală cu tensiunea de comandă (nu se recomandă pentru tensiunea de comandă de 220 V deoarece lămpile au filament subțire);

— contactoarele cu bobina de acționare sub formă de transformator;

— lampă de semnalizare cu transformator propriu;

— tensiunea de alimentare a lămpii este mai mică decît tensiunea circuitului de comandă (24 V);

— lampa *h* se conectează la rețea cînd contactul normal închis *c* (circuitul *03*) se închide (cînd contactorul *c* nu este anclanșat);

— lampa se aprinde prin acționarea releului termic *e* și rămîne aprinsă pînă la reanclanșarea releului.

Circuitele *d* și *e* (fig. 9.23) reprezintă principalele variante de legare a lămpilor în schemele de comandă.

O altă funcție a lămpilor este semnalizarea stărilor normale și a defecțiunilor. Astfel lămpile din circuitele *a*. . .*d* pot indica starea normală de

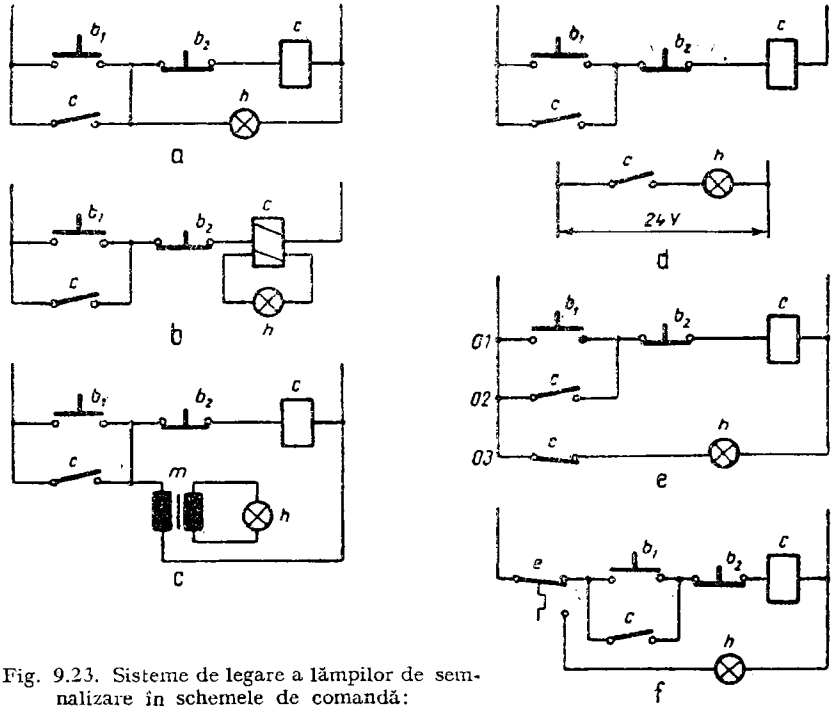


Fig. 9.23. Sisteme de legare a lămpilor de semnalizare în schemele de comandă:

a — folosind lampă cu tensiune de alimentare egală cu tensiunea de comandă; *b* — în cazul contactoarelor avînd bobine cu funcție de transformator; *c* — folosind lampă cu transformator propriu; *d* — în condițiile unei surse de alimentare independente avînd tensiunea diferită de tensiunea de comandă; *e* — pentru semnalizarea întreruperii curentului prin bobina contactorului; *f* — pentru semnalizarea declanșării releului termic.

funcționare atunci cînd sînt aprinse și apariția defectelor cînd se sting. În variantele *e* și *f* situația este inversă.

În general, pentru indicarea stărilor *normal* și *defect* se vor utiliza două lămpi de culori diferite, una care indică starea normală de funcționare și alta pentru semnalizarea apariției defectului. În schemele cu mai multe lămpi semnalizarea optică poate fi completată cu un sistem de semnalizare acustică, sistem care avertizează în cazul în care se aprinde una din lămpile pentru semnalizarea defectelor.

9.5.6. COMPLETAREA SCHEMEI CU ELEMENTE DE ÎNTRERUPERE GENERALĂ

Instalația electrică trebuie să fie prevăzută cu elemente de întrerupere generală (a circuitelor de forță și a celor de comandă) pentru a permite deconectarea acesteia de la rețeaua electrică, dînd posibilitatea electricianului să intervină la oricare element al instalației. Este necesară întreruperea generală și în cazul cînd mașina nu lucrează pentru o perioadă mai lungă, evitîndu-se în acest mod o pornire întîmplătoare a mașinii de către persoane necompetente.

Elementele de întrerupere generală sînt de două feluri: fără declanșare la tensiune nulă și cu declanșare la tensiune nulă. Prin *tensiune nulă* se înțelege întreruperea curentului din rețeaua de alimentare.

Din prima grupă fac parte toate întreruptoarele, care, după cum se ştie, nu au poziţie preferenţială ci rămîn în poziţia dată pînă la o nouă intervenţie manuală.

În cea de-a doua grupă intră contactoarele comandate prin butoane, la care dispariţia tensiunii de alimentare duce la pierderea automenţinerii şi prin urmare contactorul declanşează. Reanclanşarea se realizează pe cale manuală.

Întreruperea generală cu declanşarea la tensiune nulă trebuie folosită în toate cazurile în care reapariţia tensiunii după întrerupere generală poate provoca pornirea maşinii sau a unui subansamblu al acesteia ce ar provoca accident operatorului. O asemenea situaţie se întîlneşte la maşinile-unelte comandate cu limitatoare de cursă. Cînd la dispariţia tensiunii unul din limitatoare este acţionat şi opritorul se opreşte chiar pe limitator, la reapariţia tensiunii, dacă nu sînt luate măsuri de protecţie contra tensiunii nule, maşina sau un anumit subansamblu porneşte, putînd provoca accidente grave cînd un om se găseşte în raza de acţiune a elementului acţionat.

Rezultă, prin urmare, că întreruperea generală numai printr-un întreruptor simplu este admisă doar cu condiţia ca motoarele maşinii-unelte respective să nu pornească de la sine la reapariţia tensiunii, sau pornirea motoarelor să nu constituie un pericol. În toate celelalte cazuri vor trebui luate măsuri pentru declanşarea definitivă a întregii instalaţii la tensiune nulă.

Pentru o protecţie completă se utilizează atît un întreruptor general manual cît şi un circuit pentru protecţia tensiunii nule. Întreruptorul general al maşinii serveşte pentru scoaterea instalaţiei electrice de sub tensiune atunci cînd nu se lucrează sau cînd maşina-unealtă este oprită pentru mai mult timp.

În figura 9.24 sînt date două scheme în care se ilustrează cele două moduri de întrerupere generală. În ambele scheme întreruptorul *a* realizează întreruperea generală a alimentării maşinii. Acesta este montat separat de pupitrul de comandă pentru a nu avea nici un element sub tensiune în spaţiul acestuia.

Protecţia contra tensiunii nule este asigurată de contactorul *c*, care în schema din figura 9.24, *a* prin contactul său normal deschis (6. . .8) întrerupe

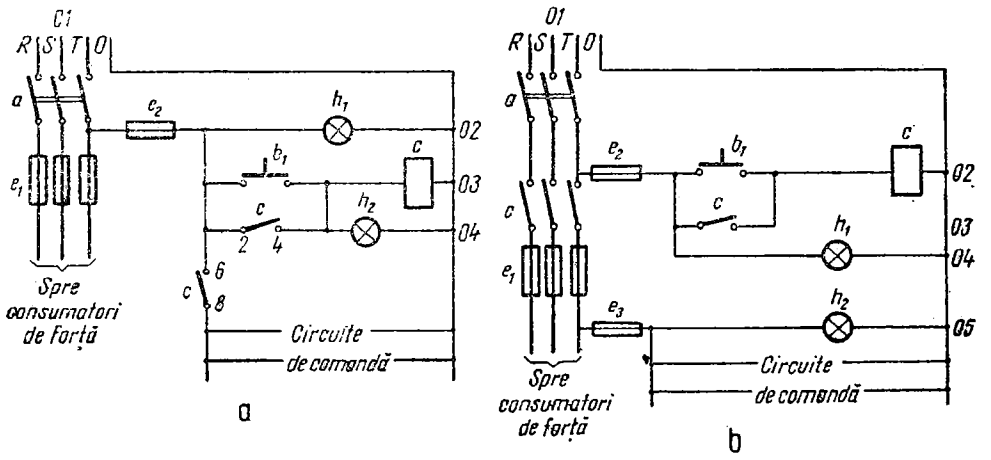


Fig. 9.24. Sisteme de legare pentru protecţia tensiunii nule:
a — cu întreruperea alimentării circuitului de comandă; *b* — cu întreruperea alimentării întregii instalaţii.

alimentarea circuitelor de comandă la dispariția tensiunii de alimentare. În schema din figura 9.24, *b* contactele *c* care sînt așezate în serie cu întreruptorul *a* realizează o întrerupere generală a alimentării întregii instalații electrice. La reapariția tensiunii circuitul contactorului *c* nu se poate închide automat deoarece contactul de automenținere *c* din circuitul *03* este deschis. Contactorul *c* poate fi reanclanșat numai prin acționarea manuală a butonului *b*1.

Lampa *h*1 din circuitul *02* (fig. 9.24, *a*) și circuitul *04* (fig. 9.24, *b*) semnalizează prezența tensiunii, iar lămpile *h*2 din circuitul *04* prima schemă și *05* a doua, lipsa aceleiași tensiuni.

9.5.7. NOTAREA ÎN SCHEMĂ A PORȚIUNILOR DE CIRCUITE CARE SE LEAGĂ LA CLEMELE DE ȘIR

Pentru o comparare mai ușoară a instalației electrice realizate fizic cu schema desfășurată este foarte util ca pe aceasta din urmă să fie indicate porțiunile de circuit (noduri) care se leagă la clemele de șir.

Clemele de șir se utilizează, de obicei, pentru interconectarea circuitelor din pupitrul de comandă cu circuitele exterioare, care conduc la elementele montate pe mașină. În pupitrul de comandă se montează în general siguranțele fuzibile, elementele de comandă manuală, contactoarele și releele.

Pe mașina-unealtă (în afara pupitrului de comandă) se montează motoarele electrice, electromagneții de acționare, cuplajele electromagnetice, limitatoarele de cursă.

Pentru a indica nodul din circuit care se leagă la clema de șir, în schema desfășurată se reprezintă simbolic o bornă amovibilă, avînd diametrul puțin mai mare decît bornele din restul schemei. Aceste borne se notează de obicei cu o literă, cu o cifră sau cu o literă urmată de o cifră.

De exemplu, în schema din figura 9.25, conductoarele pentru alimentarea principală (RSTO) se leagă la cleme de șir. Acest lucru este marcat prin cercuri cu diametrul mai mare decît celelalte noduri din schemă. De asemenea se leagă la cleme de șir conductoarele *U*1, *V*1, *W*1, ce merg din pupitrul de comandă la motorul *m*, și conductoarele (*L*1 și *L*2), ce merg la limitatorul de cursă *b*.

Aceleași notații din schema desfășurată se trec și pe clemele de șir. În acest mod devine foarte clară apartenența fiecărei cleme și în caz de defectare, munca de căutare este mult ușurată, permițînd stabilirea rapidă de legături de control cu porțiunile de circuit care trec prin clemele de șir. Indicarea pe schemă a bornelor ce se leagă la clemele de șir ușurează de asemenea montajul.

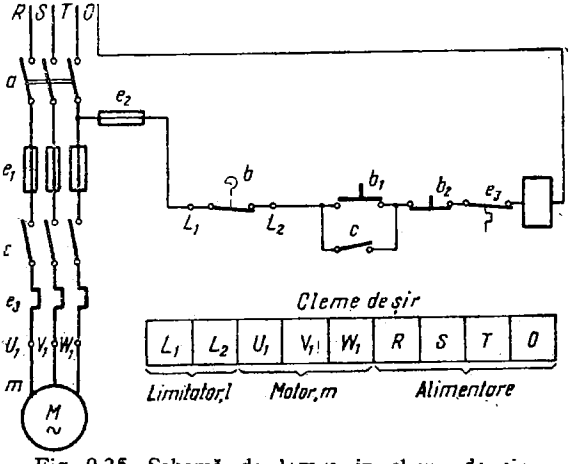


Fig. 9.25. Schemă de legare în cleme de șir.

9.5.8. VERIFICAREA SCHEMEI ELECTRICE DESFĂŞURATE

După întocmire, schema electrică desfăşurată trebuie să fie verificată cît mai atent astfel încît aceasta să realizeze toate fazele din ciclogramă evitînd, în acest mod, eventualele deficienţe în funcţionarea practică a maşinii, care în general nu se pot remedia uşor.

Principalele metode de verificare (excluzînd verificarea prin execuţie de modele, care este cea mai bună dar care este costisitoare) sînt următoarele:

a. Revizuirea atentă a schemei desfăşurate în baza ciclogramei de comandă întocmită, fără utilizarea altor mijloace ajutătoare. Această verificare constă în urmărirea imaginară a executării comenzilor prevăzute de ciclogramă, verificînd la fiecare comandă dacă s-au conectat sau deconectat dispozitivele respective. Pentru scheme mai simple această metodă dă rezultate bune, însă la schemele complicate se vor uita uşor legăturile de intercondiţionare necesare şi de aceea este bine să se utilizeze o metodă mai precisă.

b. Verificarea schemei cu notarea stării circuitelor (deschise, închise, blocate) pentru fiecare fază din ciclogramă. Este necesar, atunci cînd este cazul, să se verifice schema atît pentru funcţionarea manuală cît şi pentru funcţionarea în ciclu automat. În acest scop pentru fiecare din cele două posibilităţi de funcţionare se va întocmi cîte un tabel, în care pe orizontală se trec circuitele din schemă iar pe verticală, fazele din ciclogramă. Notîndu-se într-un anumit mod stările *deschis*, *închis* şi *blocat* ale dispozitivelor de comandă se pot determina eventualele erori strecurate în schemă.

9.6. SCHEME PENTRU COMANDA MOTOARELOR ASINCRONE

9.6.1. SCHEME PENTRU PORNIREA ŞI REVERSAREA MOTOARELOR ASINCRONE CU ROTORUL ÎN SCURTCIRCUIT

Pentru pornirea şi comanda unui motor asincron avînd puterea mică în comparaţie cu puterea reţelei, se poate utiliza schema prezentată deja în figura 9.21.

Schema conţine circuitul de forţă notat cu *01* şi circuitele de comandă notate cu *02* şi *03*. Funcţionarea schemei este următoarea: la acţionarea butonului *b2* (pornire) se închide circuitul *02* şi bobina contactorului *c* este alimentată de la reţeaua electrică. Acest fapt provoacă cuplarea contactorului *c* şi închiderea contactelor lui din circuitul *01* şi a contactului *c* din circuitul *03*.

Prin închiderea contactelor *c* din circuitele *01*, motorul se cuplează la reţea şi începe să se rotească iar contactul *c* (circuit *03*) realizează alimentarea bobinei *c* şi după ce acţionarea butonului *b2* se întrerupe.

Deconectarea motorului de la reţea se poate realiza manual prin acţionarea butonului *b1* (oprire). Motorul poate fi deconectat şi automat prin deschiderea contactului releului termic *e3* aşezat în circuitul de comandă.

În afara protecţiei termice schema asigură şi protecţia contra tensiunii nule. Dacă tensiunea în reţeaua de alimentare scade mult sau dispare complet, contactorul *c* deconectează de la reţea motorul electric. După restabilirea

tensiunii normale motorul pornește numai dacă se acționează din nou butonul *b*2.

Siguranțele *e*1 și *e*2 asigură protecția motorului și respectiv a circuitului de comandă contra scurtcircuitelor.

În cazul comenzii unui motor reversibil sînt necesare două contactoare: unul pentru rotirea spre stînga, notat cu *c*1, și celălalt pentru rotirea spre dreapta, *c*2 (fig. 9.26). În situația cînd contactoarele ar fi cuplate concomitent, în circuitul principal (circuitul *01*, *02*) ar apărea scurtcircuit, deoarece atît contactele *c*1 cît și *c*2 s-ar închide. Pentru a evita aceasta, în circuitele de comandă se folosesc sisteme de blocare electrică sau mecanică.

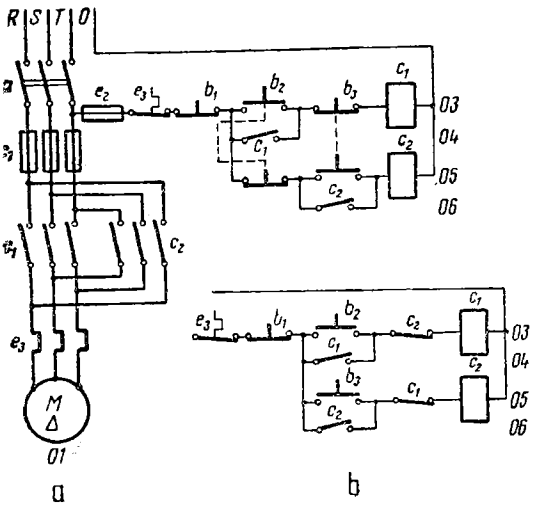


Fig. 9.26. Scheme pentru comanda motoarelor reversibile:
a — cu blocare electrică prin butoane; *b* — cu blocare electrică prin contactele contactoarelor.

În figura 9.26, *a* este prezentată o schemă unde blocarea electrică se realizează prin utilizarea atît a contactului normal deschis cît și a celui normal închis de la buton. Prin acționarea butonului *b*2 se deconectează de la rețea contactorul *c*2 (dacă a fost acționat) și se conectează *c*1, motorul rotindu-se spre stînga. La apăsarea butonului *b*3 contactorul *c*1 se deconectează și se conectează *c*2, inversînd sensul de rotație al motorului *m*.

În cazul apăsării concomitente a butoanelor *b*2 și *b*3, contactele normal închise ale acestora întrerup circuitele *05*, respectiv *03* și nici unul din cele două contactoare nu este acționat.

În figura 9.26, *b* este prezentată o schemă în care blocarea electrică se realizează cu ajutorul contactelor normal închise *c*2 și *c*1. În cazul cînd motorul nu este conectat la rețea și se apasă pe butonul *b*2 se alimentează bobina contactorului *c*1 și se închid contactele *c*1 din circuitul *01* și motorul se rotește în stînga. În același timp se închide *c*1 (din circuitul *04*), realizînd automenținerea și se deschide *c*1 din circuitul *05*, care exclude posibilitatea cuplării contactorului *c*2 la apăsare pe butonul *b*3.

Inversarea sensului de rotație, în această situație, este posibilă numai dacă în prealabil se apasă pe butonul de oprire generală *b*1.

În unele cazuri, în schemele de comandă a motoarelor reversibile se utilizează contactoare care au posibilitatea de blocare mecanică reciprocă, astfel încît să nu se poată efectua cuplarea unui contactor cînd celălalt este cuplat. La contactoarele de curent alternativ nu se poate utiliza numai blocarea mecanică, deoarece dacă electromagnetul unui contactor este pus sub tensiune și nu are posibilitatea să cupleze (fiind blocat mecanic de celălalt contactor) apare un curent foarte mare și se poate arde bobina.

În cazul cînd curenții de pornire ai motoarelor cu rotorul în scurtcircuit ating valori nepermise pentru rețeaua de alimentare se utilizează schema pentru limitarea acestora. După cum s-a văzut în capitolul 2, în aceste situații

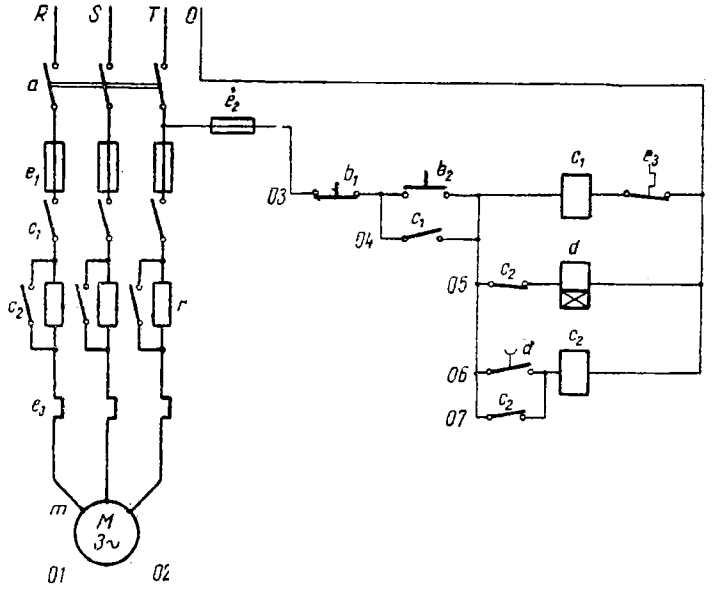


Fig. 9.27. Scheme de pornire a motoarelor folosind rezistoare în circuitul rotoric.

se leagă în circuitul de excitație rezistoare autotransformatoare, bobine de reactanță sau se face pornirea stea-triunghi, care limitează tensiunea de alimentare, prin urmare și curenții de pornire.

În figura 9.27 se dă schema de comandă a pornirii motorului cu rezistoare în circuitul statorului.

Pentru pornirea motorului se apasă pe butonul *b*2 și contactorul *c*1 anclanșează iar releul de timp *d* din circuitul *05* începe temporizarea. În acest caz statorul motorului se conectează la rețea prin rezistoarele suplimentare *r*. După un anumit timp, contactul *d* al releului de timp din circuitul *06* se închide conectînd la rețea bobina contactorului *c*2. Se închid astfel contactele *c*2 din circuitul *02* scurtcircuitînd rezistoarele *r*. Cu contactul normal închis *c*2 din circuitul *05* se scoate de sub tensiune releul de timp *d* iar cu contactul *c*2 din *07* se realizează automenținerea. Cu aceasta pornirea motorului se încheie.

Pornirea motorului cu autotransformator în circuitul statorului se poate realiza cu aceeași schemă de comandă sau cu schema dată în figura 9.28. Ultima schemă de comandă se deosebește de cea din figura 9.27 prin faptul că releul de timp *d* rămîne sub tensiune pe toată perioada funcționării motorului.

Din circuitul de forță (fig. 9.28) se observă că, în acest caz, contactorul *c*2 trebuie să posede două contacte normal închise pentru a proteja autotransformatorul.

Schema pentru pornirea stea-triunghi a motorului asincron este dată în figura 9.29. Funcționarea motorului în conexiunea stea (λ) se realizează cînd contactele *c*1 și *c*2 sînt închise, iar funcționarea în triunghi (Δ), cînd sînt închise contactele *c*2 și *c*3. Prin urmare, la trecerea de la funcționarea în stea la cea în triunghi este necesar să se deschidă contactele *c*1 și să se închidă *c*3.

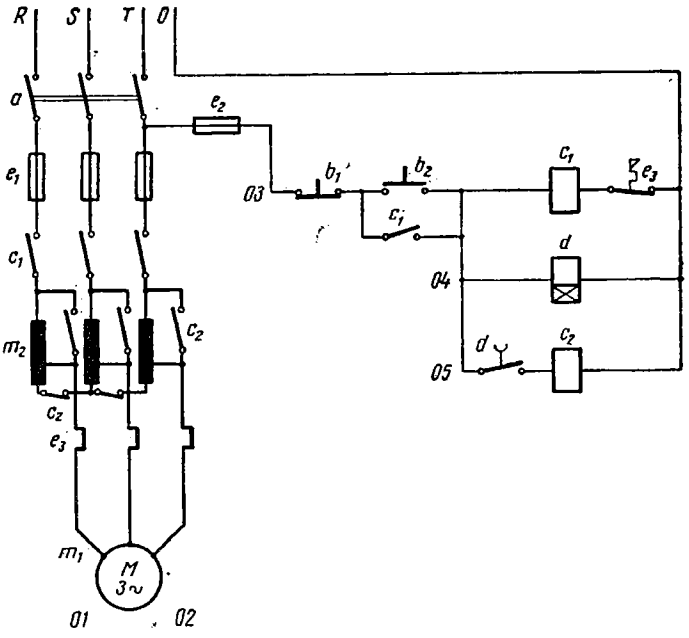


Fig. 9.28. Schema de pornire a motoarelor cu ajutorul autotransformatoarelor.

Prin apăsarea butonului *b*2 din circuitul *03* se conectează la rețea contactoarele *c*1, și *c*2 și releul de timp *d*. În acest fel se închid contactele *c*1 din circuitul *02* și apoi *c*2 din circuitul *01*. Astfel, statorul motorului *m* este conectat în stea. După încetarea acțiunii asupra butonului *b*2, alimentarea circuitelor *03*, *04* și *05* se asigură prin contactele *c*2 (circuitul *06*) și *c*1 (circuitul *05*). După trecerea unui timp (timpul necesar ca turația motorului să ajungă la 93. . .95% din turația nominală), contactul *d* din circuitul *03* se deschide și deconectează contactorul *c*1. În acest fel se deschid contactele *c*1 (circuit *01*) și se închide contactul *c*1 (circuitul *06*) conectînd la rețea contactorul *c*3. Se închid astfel contactele *c*3 și motorul funcționează în triunghi.

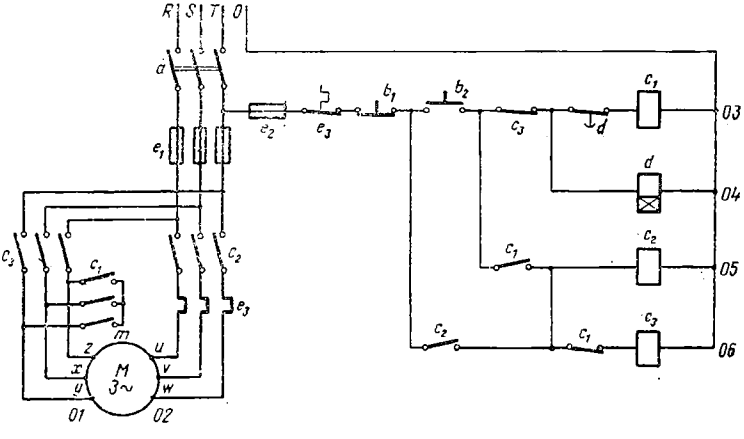


Fig. 9.29. Schema de pornire prin conectarea stea-triunghi.

9.6.2. SCHEME PENTRU PORNIREA ŞI COMANDA MOTOARELOR ASINCRONE CU ROTORUL BOBINAT

Motoarele cu inele colectoare se pornesc prin înserierea unor rezistoare în circuitul rotorului. În funcție de condițiile date de fiecare caz de utilizare, aceste motoare se pornesc în 2...4 trepte. În figura 9.30 este dată schema de pornire în trei trepte. Primele două trepte de demaraj, iar ultima (cu inelele colectoare scurtcircuitate), corespunde funcționării de regim.

La apăsarea pe butonul $b2$ se conectează la rețea contactorul $c1$ (circuitul *03*) și releul de timp $d1$ (circuitul *04*). Astfel se închid contactele $c1$ din circuitul *01* și motorul pornește cu cele două rezistoare în circuitul rotoric, realizînd treapta I.

Contactul $c1$ (circuitul *04*) realizează automenținerea, iar contactul $c1$ (circuitul *05*) permite conectarea contactoarelor $c2$ și $c3$ numai după ce contactorul $c1$ a anclanșat.

După expirarea timpului de întîrziere la care a fost reglat releul $d1$, contactul $d1$ din circuitul *05* se închide și contactorul $c2$ anclanșează scurtcircuitînd rezistoarele $r1$ prin contactele $c2$ (circuitul *02*). În același timp se scoate de sub tensiune releul de timp $d1$ din circuitul *04* cu ajutorul contactului normal închis $c2$. Menținerea în funcțiune a contactorului $c2$ se realizează cu contactul $c2$ din circuitul *06*. Motorul m funcționează deci în treapta a II-a.

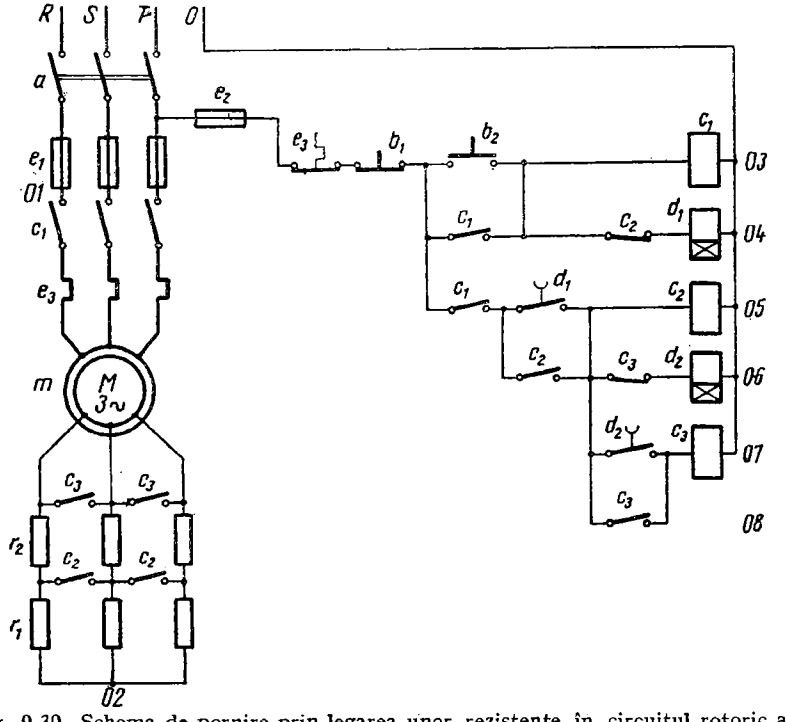


Fig. 9.30. Schema de pornire prin legarea unor rezistențe în circuitul rotoric al motoarelor asincrone cu rotorul bobinat.

Odată cu contactorul $c2$ se alimentează de la rețea și releul de timp $d2$, care în același mod cu $d1$ leagă la rețea contactorul $c3$, care scurtcircuitează și rezistoarele $r2$ permițînd motorului să funcționeze cu inelele colectoare în scurtcircuit (treapta a III-a).

La funcționarea de regim sînt conectate la rețea toate contactoarele ($c1$, $c2$, $c3$). Din schemă se observă că după conectarea contactorului $c3$, contactorul $c2$ nu mai are nici o funcțiune. O modalitate simplă de rezolvare a acestei probleme se vede în schema din figura 9.31.

În unele situații este necesar ca motorul cu inele colectoare să funcționeze în ambele sensuri atît în regim de durată cît și în regim de impulsuri. Schema dată în figura 9.31 asigură aceasta la un motor cu trei grupe de rezistoare în circuitul rotoric.

Funcționarea de durată se realizează prin apăsarea butonului $b2$ sau $b4$, depinzînd de sensul dorit de rotație. Dacă considerăm sensul de rotație

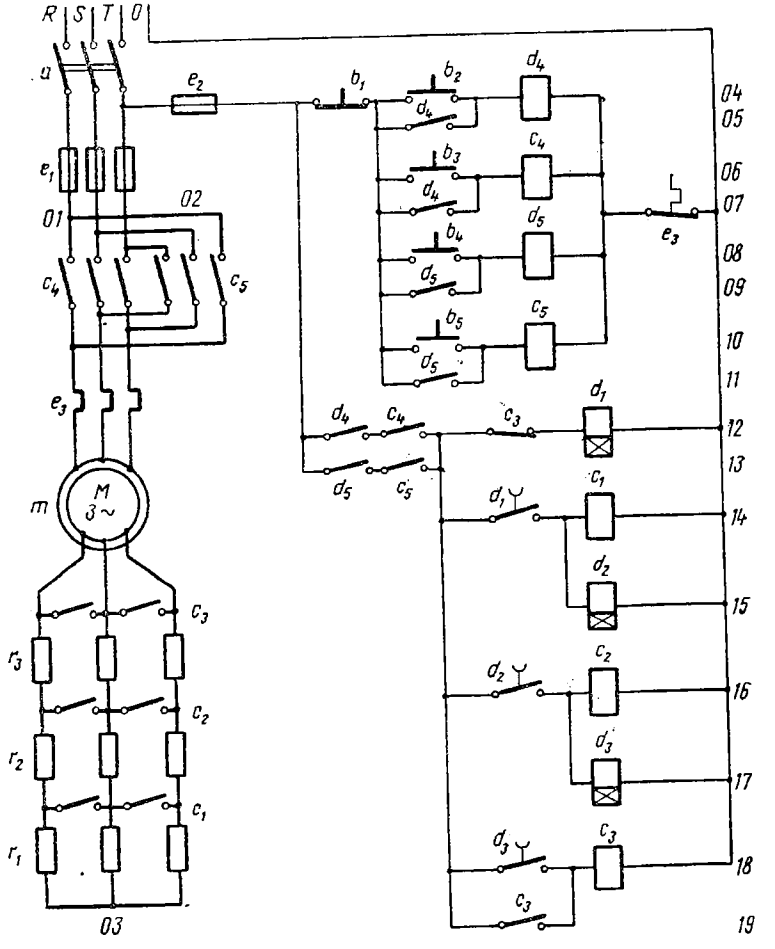


Fig. 9.31. Schema de comandă pentru pornirea motoarelor asincrone cu colector la funcționare în regim de durată sau prin impulsuri.

stînga, atunci se apasă pe butonul *b2*, anclanşînd releul intermediar *d4*. Contactul *d4* din circuitul *07* închide circuitul de alimentare al contactorului *c4* şi motorul porneşte spre stînga (se închid contactele *c4* din circuitul *01*). De asemenea, se închid şi contactele *d4* şi *c4* din circuitul *12*, asigurînd scurtcircuitarea pe rînd a rezistoarelor *r1*.. .*r3* din circuitul rotorului. Din schemă se observă că atunci cînd se cuplează şi ultimul contactor *c3*, contactoarele *c1*, *c2* şi relcele de timp *d1*, *d2* şi *d3* sînt deconectate de la reţea de contactul *c3* din circuitul *12*.

Pornirea şi funcţionarea în regim de durată a motorului în sensul dreapta se realizează în mod similar cu sensul stînga la acţionarea butonului *b4*.

La funcţionarea în impulsuri se apasă pe unul din butoanele *b3* sau *b5*, în funcţie de sensul de rotaţie. În acest caz, contactorul *c4* sau *c5* se menţine anclanşat numai atît timp cît se apasă butonul *b3* sau *b5*.

Funcţionarea motorului se realizează în acest caz cu toate rezistoarele în circuitul rotoric, deoarece circuitele *12* şi *13* sînt întrerupte (contactele releelor intermediare sînt deschise).

9.6.3. SCHEME PENTRU COMANDA MOTOARELOR CU DOUĂ TURAŢII

Motoarele asincrone trifazate cu două turaţii se utilizează astăzi tot mai frecvent pentru acţionarea maşinilor-unelte. După cum s-a văzut, cele şase bobine pot fi conectate în triunghi şi stea dublă sau stea şi stea dublă, pentru obţinerea celor două turaţii.

În figura 9.32 este reprezentată schema de comandă a unui motor asincron trifazat cu două turaţii, care este legat în triunghi pentru turaţia mică şi în stea dublă pentru turaţia mare (conexiunea Dahlander).

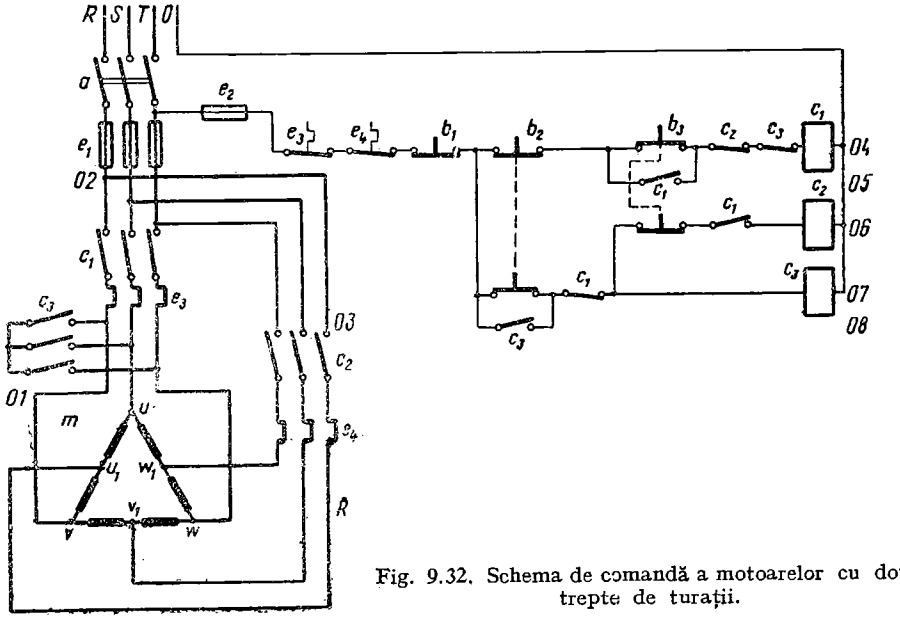


Fig. 9.32. Schema de comandă a motoarelor cu două trepte de turaţii.

Schema permite pornirea directă la oricare din cele două turații cît și trecerea directă în timpul funcționării de la turația mică la cea mare și invers.

Protecția împotriva supracurenților se realizează separat pentru cele două conexiuni (triunghi sau stea dublă), cu relee termice *e*3 și respectiv *e*4, curenții fiind diferiți în cele două cazuri.

Pentru obținerea turației mici este necesar să fie închise contactele *c*1 din circuitele *02* iar pentru turația mare contactele *c*2 din circuitele *03* și *c*3 din circuitele *01*.

Pornirea motorului cu turația mică se obține acționînd butonul de pornire *b*3 din circuitul *04*. În acest caz se alimentează de la rețea bobina contactorului *c*1, închizîndu-se atît contactele *c*1 (circuitul *02*), care conectează motorul în triunghi, cît și *c*1 (circuitul *05*), realizînd astfel memorizarea comenzii. Contactul normal închis al butonului *b*3 din circuitul *06* și contactul normal închis al contactorului *c*1 din circuitul *07* realizează declanșarea contactoarelor *c*3 și respectiv *c*2 în cazul cînd acestea au fost anclanșate. Numai după ce această declanșare se realizează, adică se închid contactele *c*2 și *c*3 din circuitul *04*, este posibilă alimentarea contactorului *c*1 și deci pornirea motorului cu turația mică.

Turația mare se obține acționînd butonul *b*2. În primul moment se întrerupe circuitul *04* (dacă aceasta a fost inițial realizat), prin intermediul contactului normal deschis al butonului *b*2, și numai după aceea se închide circuitul *07*, închizîndu-se *c*1 și contactul normal deschis al butonului *b*2. Aceasta duce la anclanșarea contactorului *c*3, care cu contactul său normal deschis *c*3 conectează la rețea și contactorul *c*2. Se închid astfel contactele *c*2 din circuitele *03* și *c*3 din circuitele *01* realizînd funcționarea motorului cu turația mare.

Oprirea motorului, indiferent de turația la care funcționează, se obține acționînd butonul *b*1 din circuitul *04*.

Schema din figura 9.33 asigură funcționarea în ambele sensuri a unui motor cu două turații (triunghi-stea dublă). Contactoarele *c*1, *c*2, *c*3 au același rol ca în schema din figura 9.32, iar contactoarele *c*4 și *c*5 realizează inversarea sensului.

Pentru pornirea motorului se acționează inițial butonul corespunzător turației dorite (*b*3 din circuitul *09* pentru turația mică și *b*2 din circuitul *11* pentru turația mare) urmat de acționarea butonului corespunzător sensului de rotație (*b*4 din circuitul *05* pentru sensul de rotire stînga și *b*5 din circuitul *07* pentru sensul de rotire dreapta). Această ordine a efectuării comenzilor este necesară pentru ca motorul să fie conectat la început în triunghi sau stea dublă și numai după aceea să fie legat la rețea.

În cazul cînd motorul nu este conectat pentru nici una din cele două turații (nu s-a acționat nici unul din butoanele *b*3 sau *b*4), pornirea motorului în sensul stînga sau dreapta nu este posibilă, deoarece releul *d* nu este anclanșat și deci contactele *d* (circuitul *05* și circuitul *07*) sînt deschise. În schimb, odată motorul pornit într-un sens de rotație (stînga sau dreapta), cu una din turații, trecerea la cealaltă turație se face simplu prin acționarea butonului corespunzător turației respective.

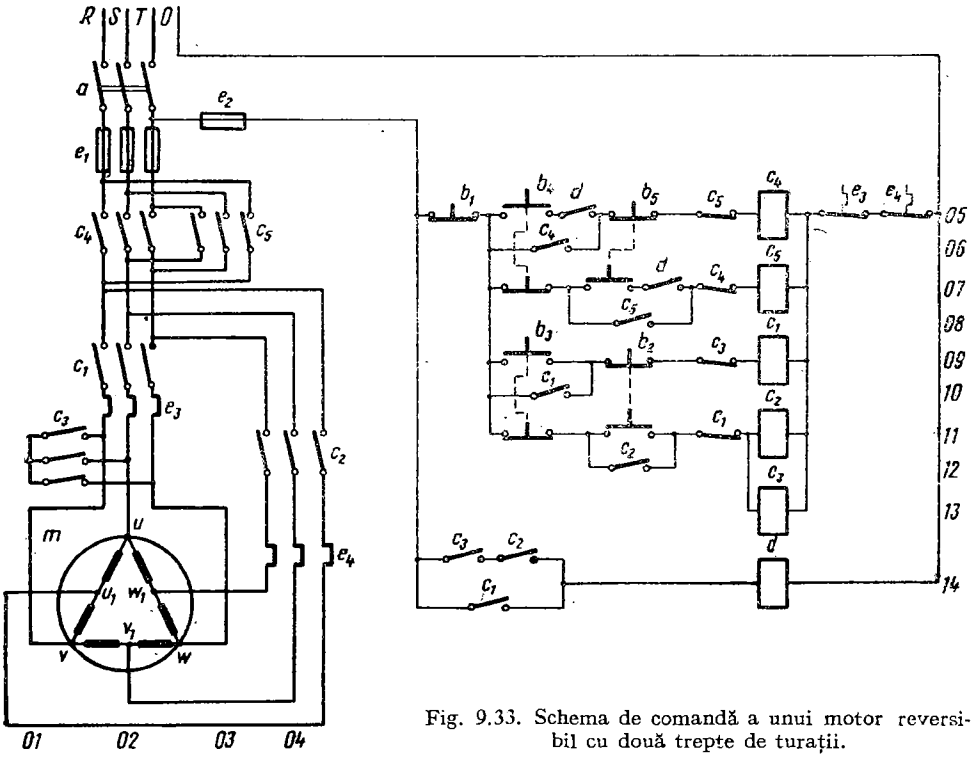


Fig. 9.33. Schema de comandă a unui motor reversibil cu două trepte de turații.

Intercondiționarea celor două turații se face prin contactele normal închise *c*3, *b*2 din circuitul *09* și *c*1, *b*3 din circuitul *11*. Se realizează de asemenea intercondiționarea sensurilor de rotație prin contactele normal închise *b*5, *c*5 din circuitul *05* și *b*4, *c*4 din circuitul *07*.

9.6.4. SCHEME PENTRU COMANDA FRÎNĂRII MOTOARELOR DE CURENT ALTERNATIV

Frînarea contracurent. Schema din figura 9.34 asigură pornirea, reversarea și frînarea motoarelor prin contracurent, comanda frînării fiind făcută în funcție de viteza motorului, cu ajutorul releului de viteză *e*4.

Pornirea motorului în sensul de rotație stînga se realizează apăsînd butonul *b*2. Se conectează la rețea bobina contactorului *c*1, care prin contactele sale *c*1 realizează pornirea motorului în sensul stînga. În același timp cu rotorul motorului *m* se rotește și rotorul releului de viteză *e*4, care face să se rotească ancora acestuia și să închidă contactul *e*4 din circuitul *06*.

Pentru inversarea sensului de rotație al motorului, se acționează butonul *b*1, care deschide circuitul *03* și închide circuitul *07* alimentînd astfel bobina contactorului *c*2, care prin contactele sale *c*2 inversează legătura la două borne ale motorului.

În schemă este asigurată protecția prin contactele *c*2 și *c*1. Astfel, contactorul *c*2 se conectează numai după ce contactorul *c*1 s-a deconectat și deci contactul *c*1 (circuitul *07*) s-a închis. În cazul cînd motorul se rotește în dreapta și se dorește inversarea sensului, se apasă pe butonul *b*2.

La inversarea sensului motorul se frînează pînă cînd turația scade la zero, apoi se accelerează crescîndu-i turația în sens invers.

Oprirea motorului însoțită de frînare se realizează prin acționarea butonului *b*3 din circuitul *12*.

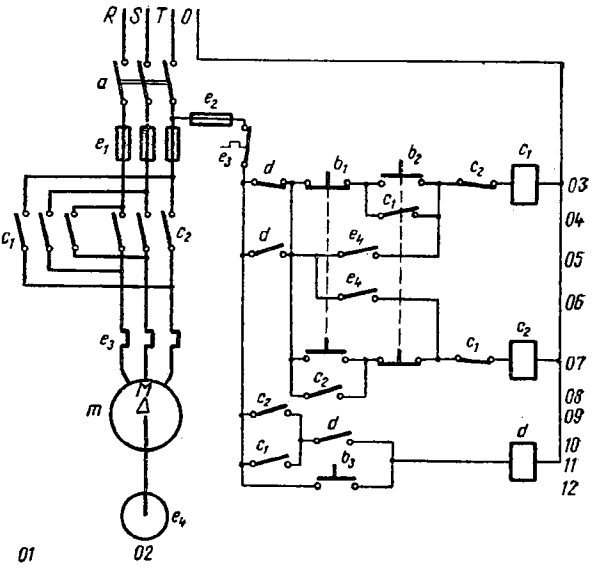


Fig. 9.34. Schema pentru pornirea, reversarea și frînarea unui motor electric asincron.

Pentru exemplificare considerăm că motorul se rotește spre stînga. Închiderea butonului *b*3 permite conectarea la rețea a bobinei releului intermediar *d*, care prin contactul normal închis *d* (circuitul *03*) deconectează bobina contactorului *c*1, iar prin contactul normal deschis *d* (circuitul *05*) conectează bobina contactorului *c*2 pe circuitele *05, 06, 07*. Se închid toate contactele normal deschise ale acestui contactor, deci și contactele *c*2 (circuitul *02*), care permite frînarea prin contracurent a motorului.

Menținerea în stare conectată a releului *d*, după încetarea acțiunii asupra butonului *b*3, se realizează prin închiderea contactelor *d* și *c*2 (circuitele *10* și *09*).

La scăderea turației motorului aproape de zero se deschide contactul *e*4 (circuitul *06*) și motorul se oprește. În mod similar se realizează oprirea și în cazul cînd motorul se rotește spre dreapta. Schema prezentată permite protecția împotriva scurtcircuitelor în circuitele principale și în circuitele de comandă, împotriva supraîncălzirii motorului, a scăderii tensiunii de alimentare și a autopornirii după dispariția sau scăderea simțitoare a tensiunii.

Frînarea dinamică. Pentru realizarea frînării dinamice cînd frecvența pornirilor și opririlor motorului este mică, se poate utiliza schema din figura 9.35. Curentul continuu necesar frînării se obține cu redresorul *n*, conectat la rețeaua de curent alternativ prin transformatorul *m*2. La oprire se acționează butonul *b*1, care întrerupe circuitul *04* deconectînd contactorul *c* și în același timp închizînd circuitele *06* și *07*. În acest mod anclanșează contactorul *c*1, care prin contactele sale (circuitele *02* și *03*) leagă două borne ale motorului la sursa de curent continuu. Pentru declanșarea contactorului *c*1 la sfîrșitul frînării dinamice este utilizat releul de timp *d* din circuitul *07*.

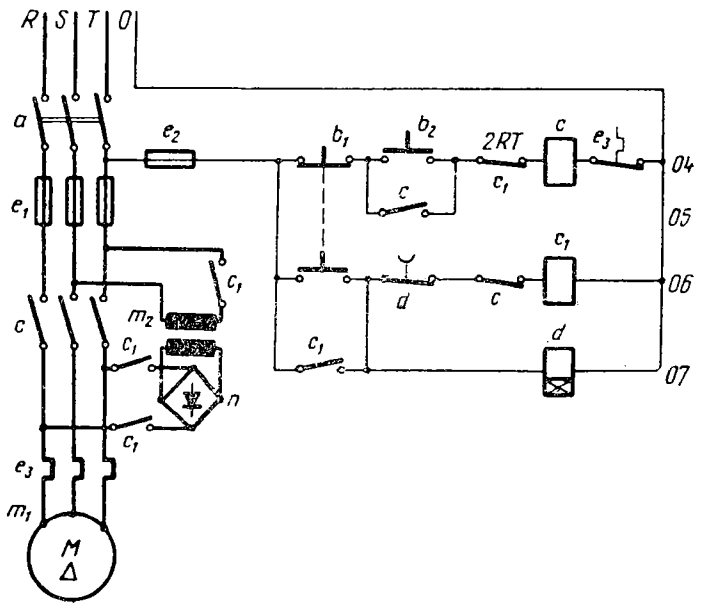


Fig. 9.35. Schema de comandă pentru frînarea dinamică a unui motor.

9.7. SCHEME PENTRU COMANDA MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITAȚIE ÎN DERIVAȚIE

9.7.1. SCHEME PENTRU PORNIREA ȘI INVERSAREA SENSULUI DE ROTAȚIE

Pentru comanda unui motor de curent continuu cu două sensuri de rotație prin legarea directă la rețea, se poate utiliza schema din figura 9.36.

La închiderea întreruptorului *a* trece curent prin înfășurarea de excitație însă circuitele *01* și *02* sînt deschise și prin urmare motorul nu pornește.

Pornirea se realizează prin acționarea unuia din butoanele *b*2 sau *b*3, depinzînd de sensul de rotație dorit.

La acționarea butonului *b*2 anclențează contactorul *c*1, care prin contactele sale *c*1 din circuitele *01* și *02* leagă peria *1* la borna + a rețelei iar peria *2* la — și rotorul motorului se rotește în sensul stînga. Pentru inversarea sensului de rotație se acționează inițial butonul de oprire *b*1 și apoi butonul *b*3. În acest caz se conectează la rețea contactorul *c*2, care prin contactele sale *c*2 din circuitele *01* și *02* inversează legăturile la perii (peria *1* se leagă la — iar *2* la +) inversînd sensul de rotație al motorului.

Protecția motorului împotriva supracurenților de durată se realizează cu releul maximal *d*, iar împotriva scurtcircuitelor cu siguranța fuzibilă *e*. Protecția înfășurării de excitație a motorului se realizează prin legarea în paralel cu aceasta a rezistorului *r*1, care are o valoare de circa 5 ori mai mare decît rezistența înfășurării de excitație. Aceasta este necesară deoarece o întrerupere accidentală a circuitului de excitație al motorului (curentul de exci-

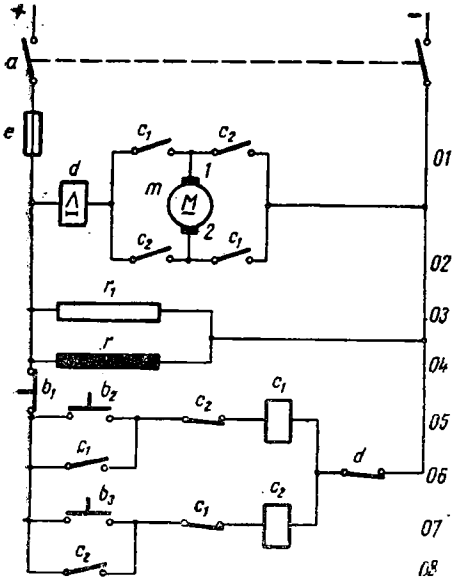


Fig. 9.36. Schema de comandă pentru pornirea prin conectare la rețea a unui motor reversibil de curent continuu.

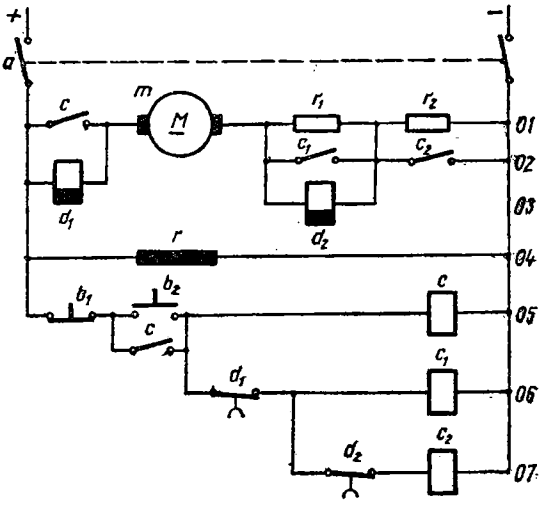


Fig. 9.37. Schema de comandă pentru pornirea unui motor de curent continuu folosind rezistențe de pornire în circuitul indusului.

tație devine zero) produce o ambalare bruscă a rotorului, cu consecințe periculoase asupra motorului și mașinii-unelte antrenate.

O schemă pentru comanda pornirii unui motor de curent continuu este dată în figura 9.37.

Automatizarea pornirii motorului derivație din schemă se realizează cu ajutorul releelor de timp cu autoinducție *d*1 și *d*2, denumite frecvent și *relee de accelerație*.

La închiderea întreruptorului *a*, curentul care străbate bobina releului *d*1, indusul motorului și cele două rezistoare *r*1 și *r*2 are valoare foarte mică, datorită rezistenței mari a bobinei releului *d*1. Din acest motiv motorul nu pornește însă anclanșează releul de timp *d*1 deschizîndu-se contactul închis din circuitul *06*. Releul *d*2 nu va anclanșa deoarece prin bobina acestuia, care este legată în paralel cu rezistorul *r*2 trece un curent foarte mic.

La acționarea butonului *b*2 anclanșează contactorul *c*, care prin contactul său din circuitul *01* scurtcircuitează bobina releului *d*1 iar prin contactul din circuitul *05* realizează automenținerea. În acest mod se închide circuitul indusului motorului și acesta pornește cu cele două rezistoare *r*1 și *r*2 înseriate cu înfășurarea rotorică iar releul de timp *d*1 începe temporizarea.

La sfîrșitul temporizării releul *d*1 își închide contactul din circuitul *06* conectînd la rețea bobina contactorului *c*1. Închizîndu-se contactul *c*1 din circuitul *02* se scurtcircuitează rezistorul *r*1, motorul funcționînd în continuare numai cu rezistorul *r*2 înseriat cu înfășurarea indusului și în același timp se scurtcircuitează și bobina releului de timp *d*2 care începe tempori-

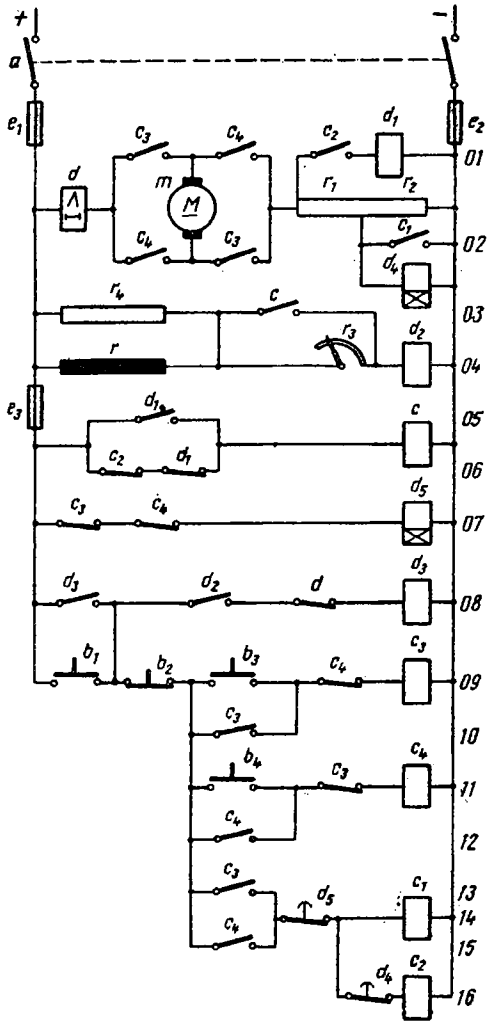


Fig. 9.38. Schema de comandă pentru pornirea, reversarea şi reglarea turaţiei unui motor de curent continuu.

zarea. După epuizarea timpului la care releul *d*2 a fost reglat, se închide contactul acestuia din circuitul *07*, care conectează contactorul *c*2. Contactul acestuia din circuitul *02* se închide scurtcircuitînd şi rezistorul *r*2. În continuare motorul funcţionează pe caracteristica naturală. Oprirea se realizează cu butonul *b*1 din circuitul *04*.

O schemă de comandă mai complexă cu care se realizează pornirea, inversarea de sens şi reglarea manuală a turaţiei este dată în figura 9.38.

Înainte de pornirea motorului se închide întreruptorul general *a* şi apoi se apasă pe butonul de pregătire a pornirii *b*1 din circuitul *09*.

Deoarece releul *d*2 (circuitul *04*) se anclanşează imediat după închiderea întreruptorului *a*, releul *d*3 din circuitul *08* se va închide realizînd prin contactul *d*3 memorizarea comenzii date.

Pornirea motorului în unul din sensurile de rotaţie se realizează prin acţionarea butonului corespunzător *b*3 sau *b*4. Acţionînd oricare din aceste butoane pe lîngă faptul că motorul începe să funcţioneze pe cea mai înclinată caracteristică artificială, începe şi temporizarea releului de timp *d*5 din circuitul *07* prin deschiderea unuia din contactele *c*3 sau *c*4. La finele temporizării releului *d*5, se închide contactul *d*5 din circuitul *14* şi contactorul *c*1 anclanşează, închizîndu-se contactul normal deschis *c*1 din circuitul *02*. În acest mod se scurtcircuitează atît rezistorul *r*2, motorul funcţionînd în continuare pe prima caracteristică artificială, cît şi bobina releului de timp cu autoinducţie *d*4. După trecerea timpului de întîrziere la care releul a fost reglat se închide contactul normal închis cu temporizare la închiderea din circuitul *16*, anclanşînd contactorul *c*2. Acesta prin contactul *c*2 (circuitul *01*) scurtcircuitează întregul reostat şi motorul funcţionează pe caracteristica naturală.

Reglarea turaţiei se realizează manual cu ajutorul reostatului *r*3 înseriat cu înfăşurarea de excitaţie a motorului. Această manevră nu este efectivă, însă, în timpul pornirii şi nici atunci cînd curentul rotoric este mai mare decît curentul minim de pornire. Din schemă se observă că atît timp cît

contactorul *c2* nu a fost anclanșat (pornirea neîncheiată), contactorul *c* este alimentat de la rețea și contactul *c* (circuitul *03*) este închis. Prin urmare, motorul funcționează cu curentul de excitație nominal. După încheierea fazei de pornire, curentul principal capătă valoarea nominală, mai mică decît curentul minim de pornire și releul *d1* declanșează deschizîndu-se contactul *d1* (circuitul *06*). Atunci se deconectează contactorul *c* și deci se deschide contactul *c* (circuitul *03*), care permite curentului de excitație să străbată reostatul *r3*. Reglînd rezistența acestui reostat se reglează fluxul de excitație și deci turația motorului. Dacă după deschiderea contactului *d1* curentul din indus crește, releul *d1* și contactorul *c* anclanșează din nou deconectînd din nou reostatul *r3*. Se realizează astfel un regim de vibrații care ferește motorul de șocuri de curent foarte mari în circuitul principal după terminarea pornirii. Asemenea situații apar frecvent atunci cînd sarcina la arborele ultimului mecanism din lanțul cinematic antrenat crește brusc. În aceste cazuri releul *d1* acționează motorul și acesta începe să-și micșoreze turația și curentul în indus pînă cînd sarcina revine la valoarea nominală. Această schemă protejează în același timp motorul la comutarea bruscă a reostatului de cîmp *r3*, cînd apar curenți mari în circuitul principal.

Schema prezintă, de asemenea, și o protecție sigură asupra anumitor dereglări din sistem. Pentru protecția circuitului principal se utilizează releul maximal *d* iar pentru circuitul de excitație releul *d2* și rezistența de descărcare *r4*. Scăderea tensiunii de alimentare pînă la o valoare minimă și autopornirea se controlează cu releul de tensiune *d3*, iar scurtcircuitele cu siguranțele fuzibile *e1*, *e2*, *e3*.

9.7.2. SCHEME PENTRU COMANDA FRÎNĂRII MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU

Frînarea contracurent. După cum s-a văzut, frînarea contracurent la motoarele de curent continuu se realizează prin inversarea alimentării rotorului și deconectarea acestuia, cu ajutorul unui releu de viteză, cînd turația lui se apropie de zero.

Ca schemă de comandă pentru realizarea acestui tip de frînare se poate utiliza cea dată în figura 9.34, pentru motorul de curent alternativ. Așezarea contactelor contactoarelor *c1* și *c2* în circuitul rotoric este aceeași ca în figura 9.36 (circuitele *01*, *02*).

Frînarea dinamică. O schemă de comandă pentru realizarea frînării dinamice împreună cu circuitele de alimentare a indusului și înfășurării de excitație este dată în figura 9.39.

Pentru oprirea motorului prin frînare dinamică se acționează butonul *b1* din circuitul *04*, întrerupîndu-se circuitul de alimentare al contactorului *c*. Se deschid astfel contactele din circuitul *01*, care întrerup alimentarea indusului, și se închide contactul *c* din circuitul *02*, releul de frînare *d* fiind alimentat cu tensiunea generată de motor, care în acest caz lucrează ca generator. Contactul releului *d* din circuitul *05* se închide, anclanșînd contactorul de frînare *c1*, care cu contactul său *c1* (circuitul *03*) conectează rezistența de frînare *r1* la bornele rotorului. Energia se disipă astfel pe această rezistență, transformîndu-se în căldură.

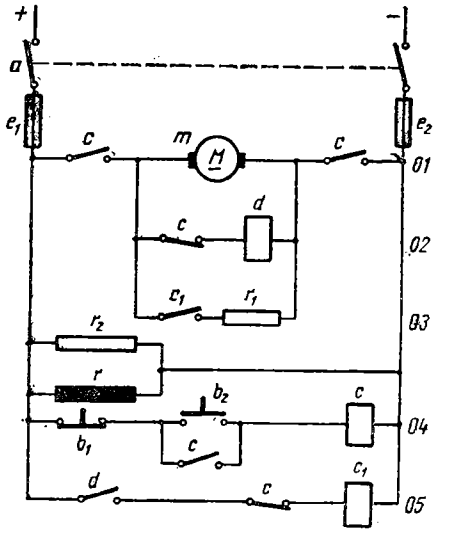


Fig. 9.39. Schema de comandă pentru frînarea dinamică a unui motor de curent continuu.

La scăderea turației motorului sub o anumită limită, tensiunea de alimentare a bobinei releului *d* nu mai este suficientă și aceasta declanșează. Se deschide astfel contactul *d* urmat de deschiderea contactului *c*1, care decuplează rezistența de frînare *r*1.

9.8. SCHEME DE COMANDĂ ÎN FUNCȚIE DE SPAȚIUL PARCURS

Comanda automată în funcție de spațiul parcurs este una dintre formele cele mai răspîndite ale automatizării electrice la mașinile-unelte.

Principalul organ de comandă utilizat în aceste scheme este limitatorul de cursă. Principiul de funcționare al acestuia și diferitele variante constructive au fost date în capitolul 7.

Limitatoarele de cursă pot fi acționate de opritorii așezați fie pe organe care au mișcare rectilinie fie pe un tambur cilindric care are mișcare de rotație (fig. 9.40).

Sistemul din figura 9.40, *a* se utilizează atunci cînd organul de lucru are mișcare rectilinie, iar cel din figura 9.40, *b* cînd mișcarea de comandă este de rotație. Acest ultim sistem se poate utiliza și atunci cînd pe traiectoria mișcării rectilinii trebuie evitată amplasarea limitatoarelor de cursă, sau, cînd cursa organului în mișcare rectilinie este foarte mică și pe parcursul ei nu se pot amplasa mai multe limitatoare. Se mai utilizează, de asemenea, tambur rotativ cînd este necesară o comandă centralizată a întregii mașini-unelte.

Într-o serie de cazuri defectarea unui limitator de cursă poate duce la avarii serioase ale mașinii-unelte. De aceea, pe traiectoria elementului mobil, atunci cînd există posibilitatea ca prin defectarea unui limitator de cursă acesta să părăsească ghidajele sau să se lovească de un element fix al mașinii.

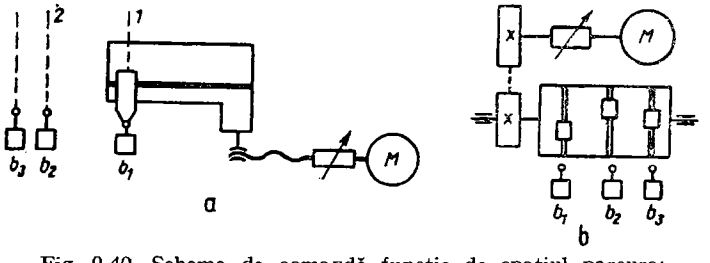


Fig. 9.40. Schema de comandă funcție de spațiul parcurs: *a* — folosind came montate pe sănii; *b* — cu ajutorul unui tambur cu came.

se mai utilizează un limitator de cursă suplimentar, care se numește *limitator de fine de cursă* și care provoacă oprirea întregii mașini cînd este acționat.

Comanda în funcție de cursă se utilizează la rezolvarea celor mai diferite probleme de automatizare a mașinilor-unelte.

De exemplu, în figura 9.41 este prezentată schema electrică conform ciclogramei din figura 9.6, asociată lanțului cinematic de realizare a următorului ciclu de lucru al unei sănii (fig. 9.5): apropiere rapidă, *AR*; avans de lucru, *AL*, și retragere rapidă, *RR*.

Pornirea mașinii se realizează închizînd mai întîi întreruptorul general *a*, apoi acționînd butonul *b*4 (pregătirea pornirii), după care se apasă pe butonul de pornire a ciclului *b*6. Din schemă se observă că prin acționarea butonului *b*4 se conectează la rețea bobina releului *d*1 din circuitul *07*, care asigură automenținerea și posibilitatea pornirii mașinii în ciclu. Prin urmare, circuitele *07* și *08* asigură protecția contra autopornirii cînd tensiunea a scăzut mult sau s-a întrerupt pentru o perioadă și apoi a revenit.

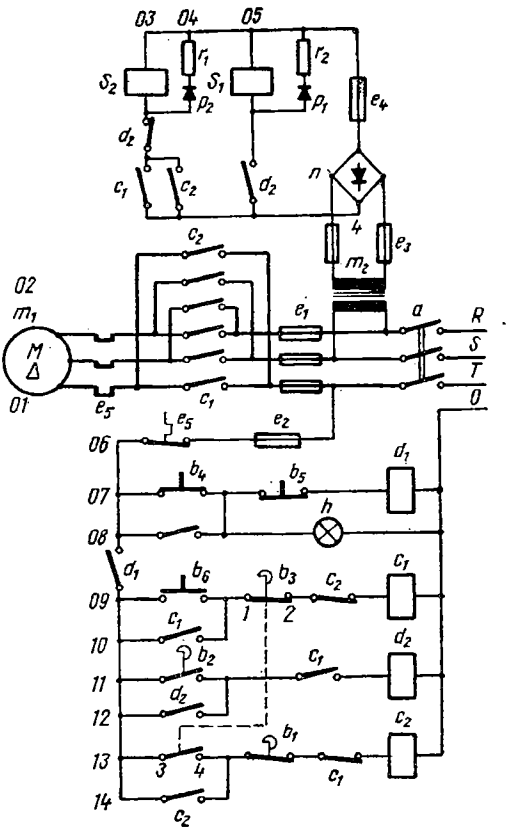


Fig. 9.41. Schema de comandă corespunzătoare ciclogramei din figura 9.6.

Acționarea butonului *b*6 duce la închiderea circuitului *09* și anclanșarea contactorului *c*1, care prin contactele din circuitele *01* și *03* pornește motorul în sensul stînga și conectează la rețea cuplajul electromagnetic *s*2. Sania începe deplasarea cu viteză mare din poziția *1* înspre poziția *2*, realizîndu-se astfel prima fază din ciclograma dată. Cînd sania ajunge în poziția *2* limitatorul de cursă este acționat și contactul *b*2 din circuitul *11* se închide conectînd la rețea bobina releului intermediar *d*2, care, cu contactul normal închis *d*2 (circuitul *03*) decuplează cuplajul *s*2, iar cu contactul normal deschis *d*2 (circuitul *05*) cuplează cuplajul *s*1. Motorul continuă să se rotească spre stînga. Se realizează astfel faza de avans de lucru.

Cînd sania ajunge în poziția *3* se acționează limitatorul de cursă *b*3 care cu contactul *b*3, plasat în circuitul *09*, deconectează contactorul *c*1, deschizîndu-se contactele *c*1 (circuitele *01*, *03*, *11*). Ultimul contact întrerupe circuitul *11*, deconectînd astfel releul *d*2, care cu contactul *d*2 (circuitul *05*) întrerupe alimentarea cuplajului *s*1. Imediat după deschiderea contactului *b*3 (*1*...*2*) se închide contactul *b*3 (*3*...*4*), care prin intermediul contacto-

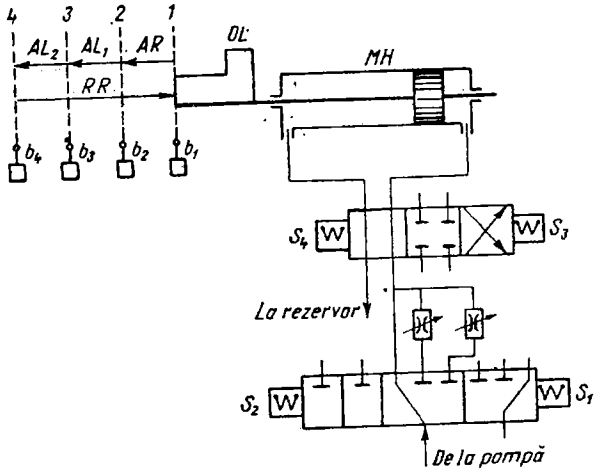


Fig. 9.42. Schema hidraulică pentru deplasarea unei sănii.

rului *c*2 conectează motorul în sensul de rotație dreapta, alimentînd în același timp și cuplajul *s*2. Se realizează în continuare faza de retragere rapidă care încetează cînd sania ajunge în poziția *1* și se deschide contactul normal închis *b*1 (circuitul *13*) al limitatorului de cursă *b*1, prin deconectarea contactorului *c*2, care prin contactele sale deconectează de la rețea atît motorul cît și cuplajul *s*2.

Dacă se dorește reluarea ciclului în mod automat, atunci este necesar să se lege în paralel cu butonul *b*6 contactul normal deschis al limitatorului *b*1.

Din schema prezentată se observă că alimentarea cuplajelor electromagnetice se face cu curent continuu iar în paralel cu bobinele acestora sînt legate cîte o diodă și un rezistor pentru a reduce t.e.m. de inducție. Protecția motorului împotriva supracurenților se realizează prin siguranțele fuzibile *e*1 și releul termic *e*5. Circuitul de comandă și cel de alimentare al cuplajelor electromagnetice sînt protejate contra scurtcircuitelor cu siguranțele *e*2 și respectiv *e*3.

În figura 9.42 se dă schema hidraulică pentru obținerea mișcării rectilinii la organul de lucru *OL* după următorul ciclu: apropierea rapidă, *AR*; avans de lucru *1*, *AL*1; avans de lucru *2*, *AL*2; retragere rapidă, *RR*. Ciclograma de funcționare întocmită pe baza schemei hidraulice se dă în figura 9.43, *a* iar schema de comandă în figura 9.43, *b*.

Circuitele *01* și *02* sînt identice cu cele de la schema precedentă. Pentru realizarea ciclului de lucru dat se acționează butonul *b*7 (circuitul *03*) conectînd la rețea bobina releului *d*2, care prin contactul *d*2 (circuitul *13*) pune sub tensiune electromagnetul *s*3, realizîndu-se astfel faza de apropiere rapidă. Trecerea la următoarea fază a ciclului se realizează prin închiderea contactului normal deschis al limitatorului de cursă *b*2 din circuitul *05*. Se conectează astfel releul *d*3, care prin contactul lui din circuitul *11* conectează la rețea electromagnetul *s*1 realizînd avansul de lucru *1*, *AL*1. Trecerea la următoarele faze se realizează cu limitatoarele de cursă *b*3 și respectiv *b*4.

Comanda opririi este dată de limitatorul de cursă *b*1, al cărui contact normal închis întrerupe circuitul releului *d*5 care scoate de sub tensiune și ultimul electromagnet *s*4. Din schemă se observă că acționarea electromagnetului *s*3 pe parcursul primelor trei faze s-a realizat menținînd anclanșat releul *d*2 pînă în poziția *4*, evitînd astfel șocurile din sistemul hidraulic prin decuplarea electromagnetului după fiecare fază și recuplarea cu un alt releu intermediar.

9.9. COMANDA ÎN FUNCȚIE DE TIMP

Comanda în funcție de timp se utilizează în cazul cînd două fenomene trebuie să se petreacă la un interval de timp bine stabilit. Această situație se întîlnește la pornirea motoarelor asincrone în conexiunea stea-triunghi, la pornirea motoarelor cu inele colectoare, a motoarelor de curent continuu etc.

Comanda în funcție de timp se realizează cu ajutorul releelor de timp de diferite tipuri. Un exemplu de utilizare a comenzii temporizate poate fi inversarea sensului de rotație a motorului principal de la strungul SRO-25.

9.10. COMANDA ÎN FUNCȚIE DE SARCINĂ

La mașinile-unelte, în multe cazuri, este necesar să se controleze eforturile ce apar în diferite dispozitive, cum ar fi cele de strîngere și de blocare. Dispozitivele de acest tip se întîlnesc la blocarea traverselor pe montanți la mașinile de rabotat și la strungurile carusel, la blocarea coloanelor mașinilor radiale de găurit etc.

Deoarece momentul dezvoltat de motor este direct proporțional cu curentul absorbit, comanda se analizează în funcție de curent. În acest scop în circuitul de forță se conectează un releu de curent care va întrerupe funcționarea motorului la atingerea curentului pentru care releul a fost reglat.

O schemă electrică a unui dispozitiv de strîngere sau blocare este dată în figura 9.44.

Pentru realizarea blocării se acționează butonul *b*1, care va permite anclanșarea contactorului *c*1, inițial prin butonul *b*1 și contactul *b*3 (din circuitul *04*) al limitatorului de cursă *b*3, care este ținut închis de o camă așezată pe organul de blocare. Este necesar acest limitator de cursă deoarece la pornire curentul obsorbit de motor este mare și alimentarea contactorului *c*1 s-ar întrerupe. După micșorarea cu-

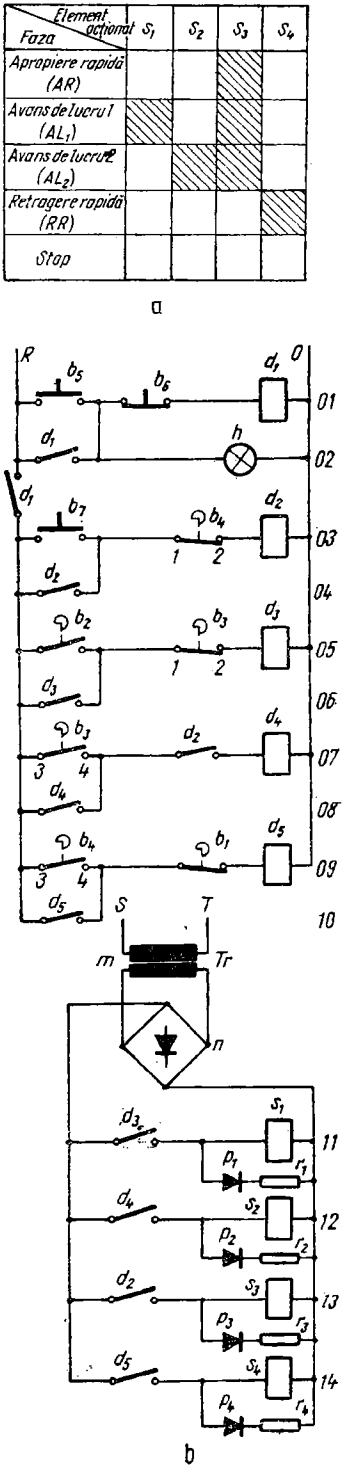


Fig. 9.43. Ciclograme și scheme de comandă electrică a organului de lucru din figura 9.42:
a — ciclograma; *b* — schema de comandă.

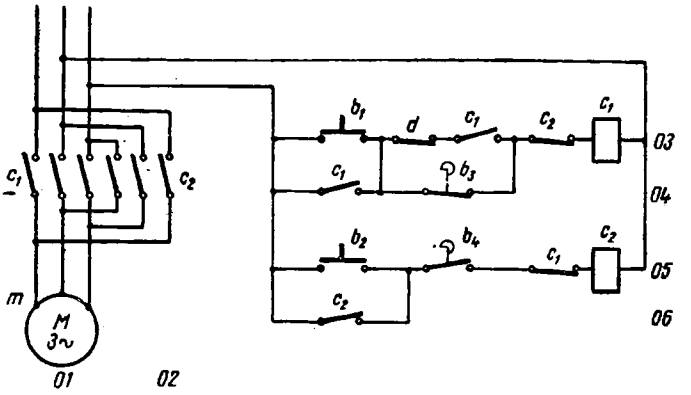


Fig. 9.44. Schema de comandă a unui dispozitiv de strîngere (blocare).

rentului de pornire contactul *b*3 se deschide, contactorul *c*1 fiind în continuare alimentat pe circuitul *03*.

Cînd curentul absorbit de motor ajunge la valoarea stabilită, releul *d* acționează deschizîndu-se contactul acestuia *d* (circuitul *03*), care va întrerupe astfel circuitul de alimentare al contactorului *c*1 și motorul *m* se oprește.

Dacă blocarea nu s-a realizat încă, dar dintr-un anumit motiv releul *d* a acționat după deschiderea limitatorului *b*3, continuarea operației de blocare nu poate fi realizată printr-o nouă acționare a butonului *b*1 deoarece contactul *c*1 (circuitul *03*) este deschis. Este necesară apăsarea pe butonul *b*2, realizîndu-se revenirea mecanismului de blocare în poziția inițială, aflarea și remedierea cauzelor care au dus la această funcționare necorespunzătoare a mecanismului și numai după aceea să se acționeze butonul *b*1 pentru realizarea blocării.

Sfîrșitul operației de deblocare se comandă de către contactul normal închis al limitatorului de cursă *b*4 (circuitul *05*), acționat de o altă camă fixată pe mecanismul de blocare.

10

COPIEREA ELECTRICĂ

Mașinile-unelte care prelucrează piesele prin copiere după un șablon plan sau spațial se diferențiază de mașinile de celelalte tipuri prin aceea că cel puțin unul din avansurile de generare este comandat de către un sistem care urmărește o suprafață similară celei de prelucrat. În acest mod profilul imprimat șablonului de referință se transmite la o anumită scară celui al piesei prelucrate, generarea integrală a suprafeței făcîndu-se prin combinarea mai multor avansuri de lucru.

Copierea se poate realiza pe mașini de copiat mecanice sau cu comandă electrică, hidraulică sau combinată. Copierea mecanică presupune o legătură rigidă a capului portsculă de cel al palpatorului care urmărește șablonul. Acest lucru limitează posibilitățile de lucru atît în ceea ce privește profilul generat cît și dimensiunile de gabarit și mai ales precizia copierii.

Copierea electrică, hidraulică sau combinată realizează o legătură oarecum elastică a unității de citire față de cea de execuție, așa încît multe din neajunsurile sistemelor mecanice sînt înlăturate. Cele mai răspîndite sisteme sînt cele cu citire electrică și acționare electrică, electromecanică, hidraulică etc.

Avantajele principale ale sistemelor de comandă electrice sînt:

— forță extrem de redusă între șablon și palpator, ceea ce permite realizarea șablonului din materiale simple, netratate termic;

— uzura șablonului practic nulă;

— posibilitatea de realizare a oricărui raport între dimensiunile șablonului și ale piesei;

— legătură simplă între unitatea de citire-comandă și execuție;

— posibilități extrem de largi de reglare etc.

O clasificare a sistemelor de copiere electrică poate fi făcută în principal după modul de acționare a suportului portsculă, respectiv după execuția comenzii. Astfel acestea pot fi:

— electromecanice, la care energia mecanică pentru deplasarea comandată a suportului este dată de sisteme electromagnetice, electroambreiaje (sau frîne), electroventile etc.;

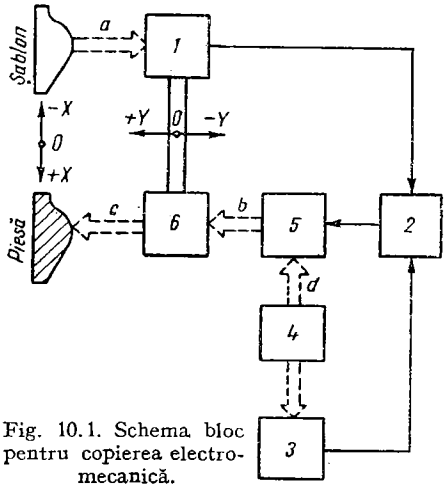


Fig. 10.1. Schema bloc pentru copierea electromecanică.

— electrodinamice, în care caz acționarea portsculei este asigurată de motoare electrice, de exemplu sisteme amplidină, motoare pas cu pas etc.;

— electronice, în care cu sistemul electronic se alimentează în mod direct un motor.

Prelucrarea comenzii de la sistemul de citire poate fi făcută prin sisteme electrice (cu relee) sau electronice. Aceasta din urmă s-a generalizat în ultima vreme ca urmare a dezvoltării electronicii și a miniaturizării elementelor componente. În ceea ce privește informația primară, ea poate fi dată de sisteme cu contact palpator-șablon sau fără contact (traductoare inductive, fotoelectrice etc.).

Schema bloc a unui sistem de copiere corespunzător variantei cu sisteme electrice este prezentată în figura 10.1.

Traductorul *1* este legat mecanic de corpul portsculă *6* în scopul realizării avansului de-a lungul ordonatei $\pm X$. Înălțimea profilului — coordonatele punctelor în direcția $\pm Y$ (mișcarea *a*) — este citită și tradusă în mărimi electrice compatibile sistemului electronic (sau electric) *2*. Acesta comandă mișcarea sistemului de execuție *5* antrenat de servomotorul *4* deplasînd în consecință suportul de scule *6*. Rezultă deci că mișcările *b* și *c* pot fi de ambele sensuri (apropiere sau retragere), în timp ce *d* este unisens. Legătura de reacție este asigurată de traductorul de reacție *3*. Un exemplu de schemă de copiere în care comanda se face cu traductoare cu contacte iar execuția cu mecanism cu roți dințate și cuplaje electromagnetice este prezentat în figura 10.2.

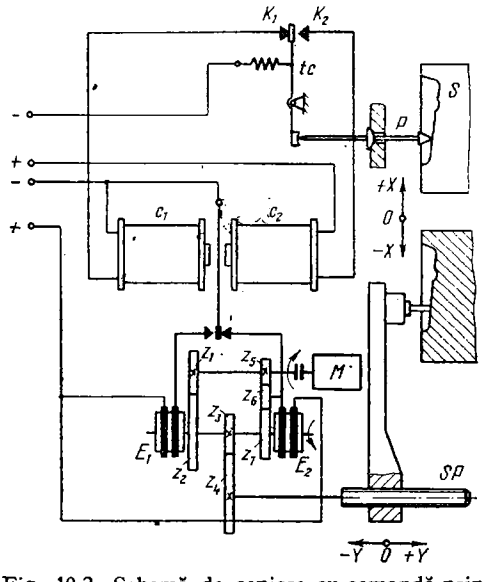


Fig. 10.2. Schemă de copiere cu comandă prin contacte a unui sistem de execuție în cuplaje electromagnetice.

Palpatorul *P* al traductorului cu contacte t.c. urmărește profilul șablonului *S* închizînd astfel unul din contactele *K*1 sau *K*2. În acest mod va anclanșa releul *c*1 sau *c*2 conectînd unul din cele două cuplaje electromagnetice *E*1 sau *E*2 (sau nici unul dacă palpatorul plasează contactul mobil *K*1 — *K*2 la mijloc). Cuplarea electroambreiajelor *E*1 sau *E*2 face ca mișcarea de la motorul *M* să se transmită fie prin *z*1, *z*2, *z*3, *z*4 (+ *Y*, pătrundere în piesă), fie prin *z*5, *z*6, *z*7, *z*3, *z*4 (adică —*Y*, retra-

gere din piesă). Deplasarea sculei în direcția X este concomitentă cu cea a palpatorului, realizîndu-se în acest mod o corespondență de 1:1 între dimensiunile șablonului și ale pieselor prelucrate. În funcție de calitatea în care sînt executate elementele componente electrice și mecanice precizia care poate fi atinsă este foarte ridicată și anume $\pm$ 0,025 mm.

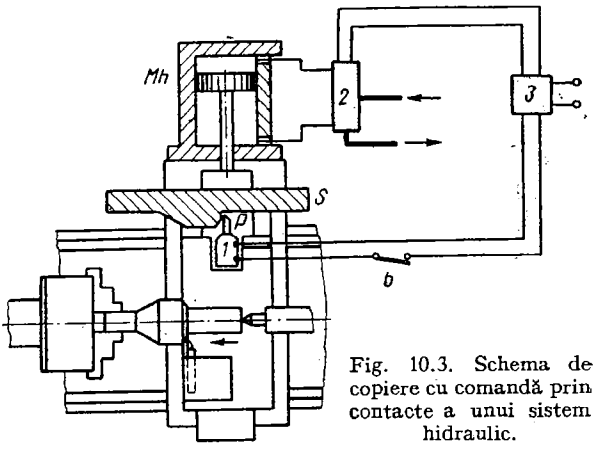


Fig. 10.3. Schema de copiere cu comandă prin contacte a unui sistem hidraulic.

În figura 10.3 este reprezentat în principiu un sistem similar primului cu deosebirea că execuția în cazul de față este hidraulică. Șablonul S este fixat pe batiul strungului iar traductorul *1* cu palpatorul P sînt montate pe căruciorul lui. În acest mod se asigură deplasarea concomitentă în direcția X. Traductorul *1* transmite semnalul electric corespunzător poziției palpatorului P amplificatorului *3*, care comandă electroventilul *2*. În funcție de poziția sertărașului acestuia lichidul pătrunde de o parte sau alta a pistonului, ceea ce determină deplasarea tijei motorului hidraulic Mh și prin aceasta determină deplasarea radială a sculei (cuțitului de strung). În acest mod precizia de formă depinde de precizia de copiere iar cea dimensională de reglajul în poziție inițială. Pentru operația de reglaj este prevăzut întreruptorul b, care poate deconecta comanda electrohidraulică pe timpul operației manuale respective. Un avantaj deosebit al unei asemenea scheme constă în posibilitatea de reglare automată a preciziei de prelucrare prin măsurarea continuă a dimensiunii generate și prin comanda corespunzătoare de corecție a deplasării tijei motorului hidraulic. Comanda aceasta ar putea fi dată de electroventilul *2* sau de un drosel suplimentar pentru corecția presiunii lichidului sub presiune.

O schemă de principiu pentru copiere dinamică este prezentată în figura 10.4. Spre deosebire de schema precedentă, în cazul celei prezente acționarea sistemului de avans este electrică și anume cu motoare de curent continuu ($Mcc1$ și $Mcc2$), alimentate de la amplidinele $A1$ și $A2$. Motorul $Mcc1$ este destinat avansului de pătrundere, în care scop el are posibilitatea să se rotească spre stînga sau spre dreapta cu viteze variabile ($-Y$, O, $+Y$). Motorul $Mcc2$ se rotește într-un singur sens, asigurînd avansul după o direcție ($-X$, O, X). În acest mod, prin corelarea sensului și

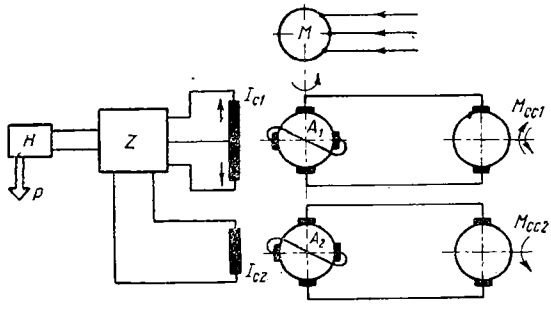


Fig. 10.4. Sistem de copiere electrodinamic.

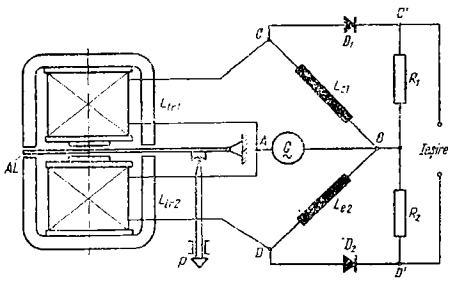


Fig. 10.5. Schema de principiu a traductorului cu inductanța variabilă diferențial.

vitezelor de avans, se realizează generarea profilului în secțiune. Viteza variabilă de rotație a motoarelor se realizează prin reglarea corespunzătoare a tensiunii de ieșire a amplidinelor, reglare comandată de înfășurările de comandă *Ic*1 și *Ic*2, care constituie elemente de execuție pentru amplificatorul *Z*. La intrarea acestui amplificator găsim traductorul *H*, care livrează la ieșirea sa semnale de comandă electrice în conformitate cu profilul șablonului, adică cu poziția palpatorului *P*.

Traductorul folosit este de tip inductanță variabilă, diferențial. Schema lui de principiu și legarea în circuitul punte de intrare sînt redate în figura 10.5. Alimentarea punții se face în diagonala *AB* de la sursa de tensiune alternativă de frecvență mărită (5kHz), *G*. În brațele *AC* și *AD* se găsesc cele două înfășurări identice ale traductorului diferențial *Ltr*1 și *Ltr*2. În celelalte două brațe *CB* și *DB* se găsesc inductanțele de echilibrare *Le*1 și *Le*2. Diagonala de măsură a punții, *CD*, este legată prin diodele *D*1 și *D*2 pe rezistoarele de însumare *R*1 și *R*2. Palpatorul *P* determină o anumită poziție a armăturii libere *A*1 și prin aceasta o variație egală și în sensuri contrarii a celor două inductanțe *Ltr*1 și *Ltr*2. În situația de echilibru, alegîndu-se corespunzător valorile inductanțelor *Le*1 și *Le*2 pentru poziția mijlocie a armăturii libere, potențialele punctelor *C* și *D* față de *B* sînt egale și deci tensiunea la capetele rezistoarelor *R*1 + *R*2 este nulă. Deplasarea armăturii într-o parte sau cealaltă face ca inductanța bobinelor *Ltr*1 și *Ltr*2 să se modifice și astfel potențialele punctelor *C* și *D* față de *B* să nu mai fie egale. Prin diodele *D*1 și *D*2 tensiunea din *C* și *D* se aplică pe rezistoarele *R*1 și *R*2 (redresată) și în acest mod potențialul punctului *C'* devine diferit de cel al lui *D'*. Față de *B* aceste două potențiale vor fi totdeauna pozitive; la ieșire însă, diferența de potențial a punctului *C'* față de *D'* poate fi mai mare sau mai mică decît *0*, ceea ce va face ca punctul *C'* să fie pozitiv sau negativ față de *D'*. Semnalul astfel rezultat, dependent ca mărime și sens de mărimea și sensul deplasării armăturii *AL*, se aplică unui amplificator iar după demodulare și amplificare în putere alimentează înfășurările de comandă ale celor două amplidine din schema din figura 10.4.

Traductoarele de tip inductanță variabilă sînt relativ simple, foarte eficace, însă prezintă dezavantajul necesității legării lor într-o punte care de multe ori este mai greu de echilibrat. Acest lucru a condus la utilizarea tot mai largă a traductoarelor de inducție de tip transformator. Aceste traductoare sînt mult mai sensibile decît cele de tip inductanță, sînt mai sigure, mai robuste și au un reglaj foarte simplu. Dezavantajul principal al lor constă în aceea că necesită o sursă de curent alternativ de frecvență mărită (5 kHz), foarte riguros stabilizată în frecvență și amplitudine, deoarece la modificarea acestor doi parametri se modifică t.e.m. indusă care este tocmai semnalul de ieșire.

Un astfel de traductor este prezentat schematic în figura 10.6. Înfășurarea primară *1* este alimentată în curent alternativ. T.e.m. de inducție este proporțională atît cu raportul numărului de spire primar/secundar cît și cu pro-

prietățile circuitului magnetic, în ultimă instanță cu valoarea întrefierului. În acest mod, raporturile $n1/n2$ și $n1/n3$ rămînînd constante, t.e.m. de inducție va varia la ieșirea *2* sau *3*, în funcție de valorile întrefierului corespunzător. Prin compararea tensiunilor *2* și *3* — prin intermediul unui comparator electronic — se pot determina sensul și mărimea deplasării palpatorului, respectiv a armăturii mobile. Astfel de traductoare echipează în momentul de față sisteme de măsură și control, sisteme de comandă automată a mașinilor-unelte și sisteme de copiat. În figura 10.7 se redă schema de principiu a capului de copiat al mașinii de frezat prin copiere, model 6441A, de fabricație sovietică. Palpatorul *5*, prin vîrful său *6*, urmărește profilul șablonului. Mișcarea lui este transmisă prin articulația fără joc *3* la pîrghia *2* care deplasează armătura liberă *1*, făcînd ca t.e.m. induse în înfășurările secundare $w3$ și $w4$ să fie proporționale și corespunzătoare deplasării respective. Aceste tensiuni se aplică amplificatorului diferențial *Z*, care comandă deplasarea de pătrundere a sculei. De remarcat faptul că sistemul nu este prevăzut cu comparator și semnal corespunzător etalon prin faptul că traductorul este diferențial și că deplasările trebuie să fie proporționale. Scara deplasărilor și raportul puterilor (comandă-execuție) se asigură de amplificarea sistemului. Pentru simplificare și mărirea preciziei și stabilității funcționale de regulă raportul deplasărilor este egal cu unitatea. În acest caz avansul de-a lungul axei *OX* (v. fig. 10.1 și 10.2) este egal pentru capul de copiat și cel de frezat, ceea ce simplifică cinematica mașinii și mărește siguranța ei funcțională.

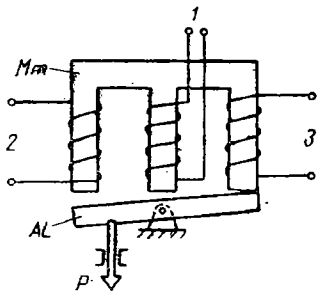


Fig. 10.6. Schema traductorului de inducție.

Un alt sistem de citire, făcînd parte din categoria celor fără contact nemijlocit traductor-șablon, este cel de tip fotoelectric. Principalul avantaj al acestor capete de copiat constă în aceea că copierea nu necesită un șablon, ci ea se poate realiza de cele mai multe ori direct după desen. În acest mod complexitatea conturului șablonului nu mai constituie o problemă tehnologică deosebită, el realizîndu-se prin simpla desenare pe hîrtie, punîndu-se în evidență fie conturul fie întreaga suprafață delimitată de acesta. Un exemplu de acest gen este prezentat în figura 10.8.

Desenul este fixat pe o masă *A*, care are o mișcare de rotație identică cu cea a mesei portpiesă *B*. Capul de citire, care poartă sis-

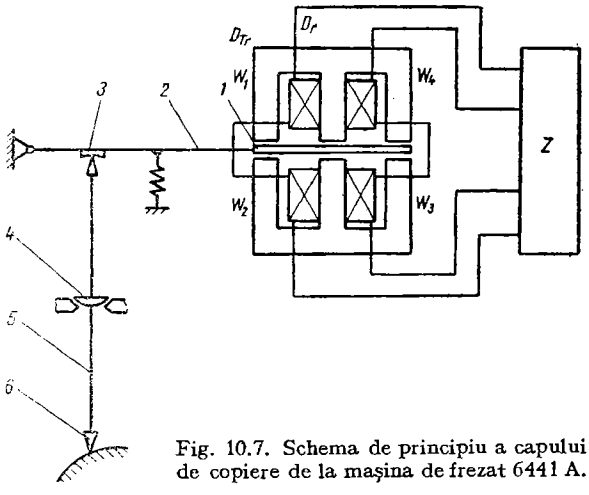


Fig. 10.7. Schema de principiu a capului de copiere de la mașina de frezat 6441 A.

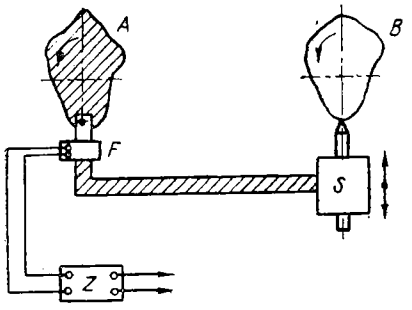


Fig. 10.8. Schema de copiere fotoelectrică.

temul fotosensibil F, este legat rigid de portscula S. Funcționarea sistemului este simplă. Cele două mese A și B se rotesc cu avans sincron, iar sistemul F și S se deplasează spre exteriorul sau interiorul desenului în funcție de intensitatea luminoasă care atinge suprafața fotosensibilă a traductorului. De regulă acesta se reglează astfel încît semnalul de apropiere sau depărtare să apară atunci cînd centrul celulei foto se află la marginea conturului, adică atunci cînd intensitatea luminoasă are valoarea mijlocie între „întunecat" și „luminos". La o amplificare suficientă sistemul poate fi făcut practic oricît de sensibil, așa încît precizia de copiere este de asemenea foarte ridicată. Asupra acestei precizii o influență mare o au dimensiunea suprafeței fotosensibile, distanța pînă la desenul de copiat și variația accidentală a ntensității luminoase. Influența acesteia din urmă poate fi în mare măsură diminuată prin folosirea unui sistem de corecție care să măsoare — și să dea comenzi în consecință — intensitatea luminoasă a cîmpului alb aflat în imediata apropiere a capului de citit. Semnalul luminos transformat în semnal electric este comparat cu o mărime electrică compatibilă, reglată în prealabil, și rezultanta celor două semnale este amplificată în amplificatorul Z la ieșirea căruia se află un sistem de execuție care asigură deplasarea sistemului portscul odată cu cel al capului de citit.

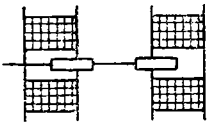
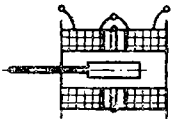
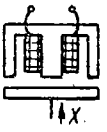
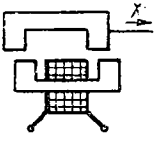
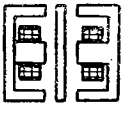
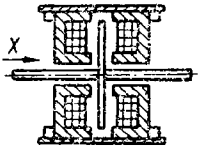
Este de remarcat faptul că sistemul nu este dotat cu o buclă electrică de reacție deoarece controlul execuției se realizează de la sine prin legătura rigidă între portscul și portcapul de citire. Un alt element care conduce la mărirea preciziei globale a prelucrării este faptul că ambele capete au deplasarea după o singură direcție, ceea ce reduce la jumătate influența factorului ghidare. Evident, mașinile care pot prelucra contururi deschise trebuie să dispună de mecanisme care să asigure deplasarea portsculei și portcapului de citire după ambele axe, OX și OY.

După cum s-a observat, în construcția sistemelor electrice sau electronice de copiere, elementul primar și de maximă importanță este traductorul.

Traductoarele transformă mărimile fizice (lungimi, unghiuri, intensitate luminoasă etc.) în semnale proporționale electrice. Deși sarcina unui traductor este oarecum limitată, construcția, principiul de funcționare și performanțele funcționale sînt extrem de diversificate. În tabelele 10.1, 10.2, 10.3, 10.4 se redau schemele de principiu și o serie de caracteristici de calcul și de utilizare pentru cîteva tipuri de traductoare.

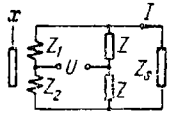
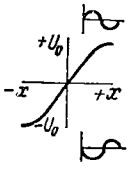
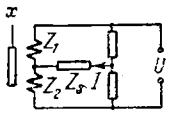
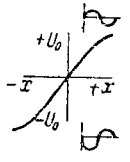
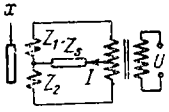
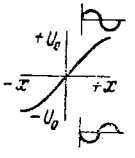
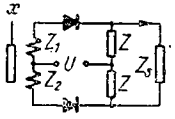
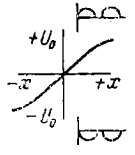
Tabelul 10.1

Schemele de realizare constructivă a traductoarelor inductive

Nr. crt.	Tipul	Schema	Deplasarea (mm)	Observaţii
1	Traductor solenoidal		3...100	În unele cazuri cu miez magnetic pentru mărirea sensibilităţii
2	Traductor solenoidal		3... 50	
3	Traductor cu întrefier variabil		0,01... 5	
4	Traductor cu suprafaţa traductorului variabilă		0,5 ... 15	
5	Traductor diferenţial cu întrefier variabil		0,01... 5	
6	Traductor diferenţial de tip cilindric cu cîmp magnetic închis		0,01... 5	Se confecţionează din material plin

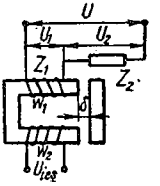
Tabelul 10.2

Schemele circuitelor de legare a traductoarelor inductive

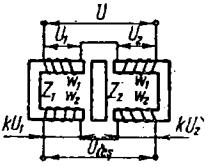
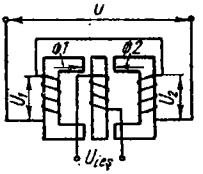
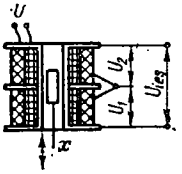
Nr. crt.	Schema	Diagrama funcției $U_{ieș} = f(x)$	Observații
1	2	3	4
1			Amplificator de tensiune cu frecvență purtătoare
2			Idem
3			Idem
4			Amplificator de curent continuu

Tabelul 10.3

Schemele traductoarelor inductive de tip transformator

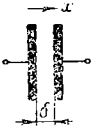
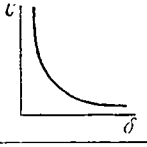
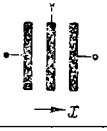
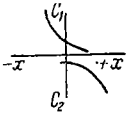
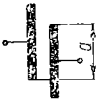
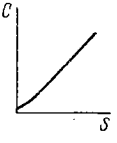
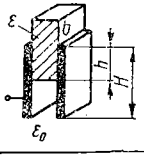
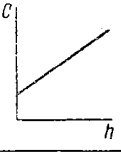
Nr. crt.	Tipul	Schema
1	2	3
1	Traductor cu bobine distribuite pe două coloane	

Tabelul 10.3 (continuare)

1	2	3
2	I d e m, diferențial	
3	I d e m, cu înfășurarea activă pe armătura liberă	
4	Traductor de tip transformator cilindric	

Tabelul 10.4

Traductoare capacitive; schemă principială, caracteristici

Nr. crt.	Tipul traductorului	S c h e m a	Graficul funcției	Observații
1	Traductor cu distanță variabilă			Limita de măsurare 0. . . 1 mm
2	Idem, diferențial			”
3	Traductor cu suprafață relativă variabilă			Peste 1 mm deplasare
4	Traductor bazat pe variația naturii dielectricului			Deplasarea dielectricului și spațiul dintre armături peste 1 mm

11

SCHEMELE CIRCUITELOR DE ACȚIONARE ȘI COMANDĂ ELECTRICĂ ALE PRINCIPALELOR TIPURI DE MAȘINI-UNELTE

11.1. CERINȚELE DE BAZĂ ALE ACȚIONĂRII ELECTRICE A MAȘINILOR-UNELTE

Construirea oricărei mașini-unelte trebuie să se realizeze în așa fel încît aceasta să îmbine în mod rațional următoarele patru deziderate:

— productivitate înaltă a muncii;
— calitate corespunzătoare a suprafețelor pieselor prelucrate;
— simplitate în deservirea mașinii;
— preț de cost redus al construcției.

În afară de acestea este necesar să se țină seama de faptul că muncitorul trebuie să execute operații diferite, numărul acestora crescînd în cazul polideservirii.

Rezultă că acesta trebuie să fie scutit de realizarea unor operații de deservire complexe care presupun atît eforturi însemnate și de durată cît și reținerea unor cicluri de lucru greoaie. Toate acestea pot fi realizate pe calea utilizării acționărilor electrice, simple sau complexe, cu un grad de automatizare al operațiilor mai mult sau mai puțin complex. Alegerea unei acționări potrivite trebuie făcută încă înainte de proiectarea mașinii-unelte deoarece însăși forma acesteia depinde foarte mult de tipul de acționare ales.

Aparatajului electric trebuie să i se asigure un asemenea mod de dispunere încît să fie ușor accesibil și comod în manevrare. În prezent se merge tot mai mult pe ideea concentrării acestuia în dulapuri și/sau panouri electrice, separate de mașină și legate de aceasta prin tuburi care conțin conductoarele.

Dispunerea aparatelor pe panoul de comandă trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

— să fie plasate în ordinea acționării lor în funcție de ciclul de conectare;
— fiecare lampă de semnalizare să fie plasată în dreptul elementului de comandă care acționează mișcarea la care aceasta se referă;
— aparatele de comandă să aibă înscrisă comanda pe care o realizează;
— să prezinte un aspect îngrijit.

Panourile de comandă se poziționează, cînd este posibil, pe mașină, de preferință în mai multe locuri ușor accesibile (două sau chiar trei) pentru

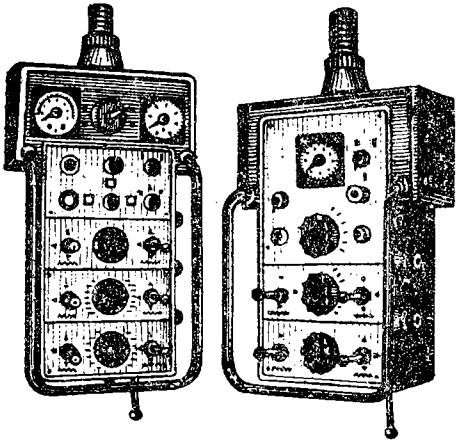


Fig. 11.1. Panouri de comandă suspendate.

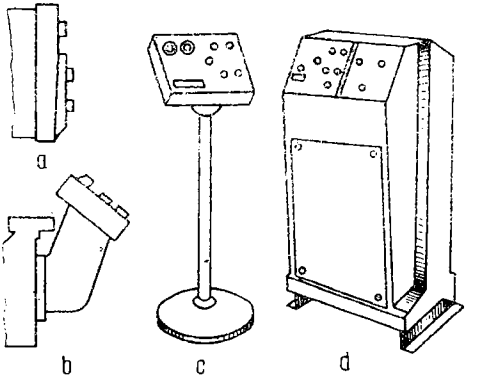


Fig. 11.2. Tipuri de panouri și pupitre de comandă separate.

multiplicarea unor comenzi. Se utilizează și panouri atîrnate, de regulă în cazul mașinilor foarte mari. Un astfel de exemplu este ilustrat în figura 11.1. Este vorba de panourile de comandă ale strungurilor carusel (de tip SC 1.000, 1.250, 1.600, 2.000, 2.500, 3.200) fabricate în țara noastră.

Cînd montarea pe mașină nu este posibilă (de exemplu, cazul comenzii simultane la liniile agregat) se construiesc panouri și chiar pupitre de comandă separate. În figura 11.2 sînt prezentate cîteva tipuri de astfel de panouri.

În sfîrșit, alegerea modului de dispunere a tuturor elementelor instalației electrice trebuie să contribuie la realizarea unei condiții tot mai frecvent impusă în construcția mașinilor-unelte, și anume estetica acestora.

În continuare sînt prezentate schemele de acționare și comandă electrică ale principalelor tipuri de mașini-unelte.

11.2. STRUNGURI PARALELE UNIVERSALE

Varietatea foarte mare de soluții constructive, dictată de necesitățile de utilizare, face ca și schemele electrice ale strungurilor să fie diferite. Diferențe mai mari apar de regulă în componența schemelor de comandă și mai puțin în cele de acționare.

În general schemele de acționare pentru strungurile paralele universale de dimensiuni mici și mijlocii sînt relativ simple. O astfel de schemă cuprinde motorul pentru acționarea mișcării principale și de avans, motorul pentru pompa lichidului de răcire-ungere, în unele cazuri motor pentru deplasarea rapidă și posibilitatea de adaptare a unui motor pentru sistemul de copiere hidraulică. În cazul strungurilor de dimensiuni mari se prevăd și motoare pentru acționarea pinolei, pentru deplasarea rapidă a căruciorului în direcție transversală și chiar antrenarea de la două capete a piesei de prelucrat.

11.2.1. STRUNGUL S3

Schema electrică de principiu pentru strungul de fabricație românească *S3* este redată în figura 11.3. Strungul este prevăzut cu două motoare de tip asincron trifazat și anume motorul de antrenare al mișcării principale și de avans *m*1 (7 kW — 1 460 rot/min) și motorul pompei de lichid *m*2 (0,15 kW — 2 800 rot/min). Rezultă că și schema de comandă este simplă. Conectarea motorului *m*1 se face prin acționarea butonului de pornire *b*2 care închide circuitul bobinei contactorului *c*. Oprirea lui se realizează la simpla apăsare a butonului de oprire *b*1. În acest fel circuitul de comandă este deconectat și, ca urmare, contactele principale (circuitul *02*) împreună cu contactul auxiliar de automenținere (circuitul *04*) se deschid. Conectarea motorului *m*2 se face prin intermediul unui întreruptor pachet *a*2, dată fiind puterea lui mică.

Motorul *m*1 este protejat de releul termic *e*3 împotriva suprasarcinilor de durată. Contactul *NI* al acestui releu este înseriat în circuitul de alimentare al bobinei contactorului *c*, avînd aceeași funcție ca și butonul de oprire *b*1. Ambele motoare sînt asigurate la scurtcircuite prin siguranțe fuzibile (*e*1 și respectiv *e*2).

Panoul electric pe care se găsesc aparatele descrise mai sus este conectat la rețea prin întreruptorul pachet *a*1. Se recomandă acționarea acestui întreruptor înainte de conectarea sau după deconectarea motorului principal, dată fiind capacitatea lui de închidere-rupere scăzută. Cel de-al treilea întreruptor pachet *b*3 leagă la rețea transformatorul *m*3 (220/24 V — 63 VA) care alimentează lampa *h* pentru iluminat local. Protecția lui la scurtcircuit este realizată cu siguranța fuzibilă *e*5.

Aparatele amintite sînt dispuse pe mașină în așa fel încît deservirea să fie cît mai simplă. Astfel, cele două butoane, de pornire și oprire, se găsesc montate pe batiul mașinii, în partea stîngă a lui, la nivelul ghidajelor. Cele trei întreruptoare pachet sînt montate în interiorul batiului, pe panoul comun, și sînt acționate prin tije prelungitoare care ajung în partea stîngă jos a

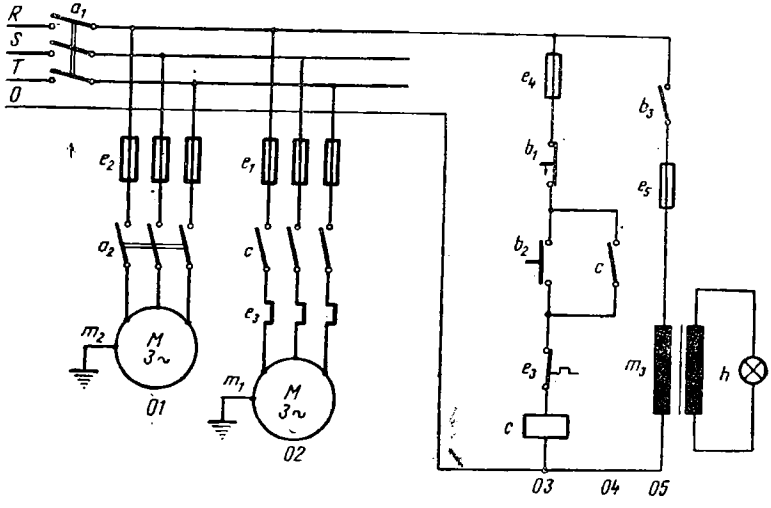


Fig. 11.3. Schema de principiu pentru comanda strungului S3.

acestuia. În fine, restul aparatelor, siguranțe, contactor, transformator, sînt montate pe un panou comun închis în interiorul unei nișe aflate în partea din spate a batiului, sub cutia de viteze.

Accesul la aparataj se face printr-o ușă, închisă cu un zăvor cu o cheie de configurație specială, pentru a evita electrocutările. De la panoul de montaj cablurile sînt duse la consumatorii respectivi (motor principal, motor pompă și lampă) prin tuburi metalice de protecție. Pămîntarea strungului se face cu platbandă la centura de pămîntare a atelierului. În acest scop, în partea din spate, dreapta, a mașinii se găsește un șurub de pămîntare marcat special.

11.2.2. STRUNGUL SNA 360

Strungul universal SNA 360, a cărui schemă electrică de principiu este redată în figurile 11.4 (forța) și 11.5 (comanda), este prevăzut cu cuplaje mecanice în cutia de viteze.

Instalația electrică a strungului se conectează la rețeaua electrică trifazată (fără conductor de nul) prin intermediul întreruptorului principal *a*. Ampermetrul *g* indică curentul absorbit de mașină și implicit sarcina principalului consumator — motorul mișcării principale și de avans *m*1.

Motorul principal *m*1 este un motor asincron trifazat cu două turații: 1 500/3 000 rot/min (5,2/6,5 kW). Pornirea lui se face prin acționarea butonului *b*2 (1 500 rot/min), respectiv *b*3 (3 000 rot/min). Pentru oprire se acționează butonul *b*1. Butoanele *b*2 și *b*3 au încorporată cîte o lampă de semnalizare (*h*2 și respectiv *h*3) care indică turația motorului *m*1.

Strungul este echipat și cu un motor pentru deplasare rapidă, *m*2, de 0,55 kW și 1 000 rot/min, care își poate inversa sensul de rotație. Pornirea acestui motor se face prin acționarea unuia din butoanele *b*4 sau *b*5, în funcție de sensul de rotație dorit. Sistemul de comandă nefiind prevăzut cu contacte de automenținere, motorul funcționează doar atîta timp cît unul din cele două butoane este acționat. Acest lucru previne posibilitatea apariției unor avarii ca urmare a întîrzierii operației de întrerupere a circuitului de comandă.

Pompa pentru lichidul de răcire este antrenată de un motor trifazat, *m*3, de 0,15 kW și 3 000 rot/min. Pentru pornire se acționează butonul *b*7, iar pentru oprire *b*6.

Protecția la scurtcircuit a celor trei motoare este realizată cu siguranțele fuzibile *e*1, *e*4 și respectiv *e*5. Motoarele *m*1 și *m*3 sînt protejate și împotriva suprasarcinilor de durată cu ajutorul releelor termice *e*2, *e*3 și respectiv *e*6. Motorul pentru deplasare rapidă nu este prevăzut cu o astfel de protecție datorită faptului că timpul de lucru este mai mic decît timpul de acționare al unui releu termic.

Tensiunea folosită în circuitele de comandă (bobinele contactoarelor *c*1. . .*c*6 și cea a releului intermediar *d*) este de 110 V, fiind obținută de la secundarul transformatorului *m*5. Transformatorul *m*4 alimentează cu tensiunea de 24 V cele două lămpi de semnalizare (*h*2, *h*3) și lampa pentru iluminatul local *h*1 (la închiderea întreruptorului *b*8). Același transformator alimentează și redresorul *n*, care furnizează curentul continuu necesar cuplajelor electromagnetice *s*1 și *s*2.

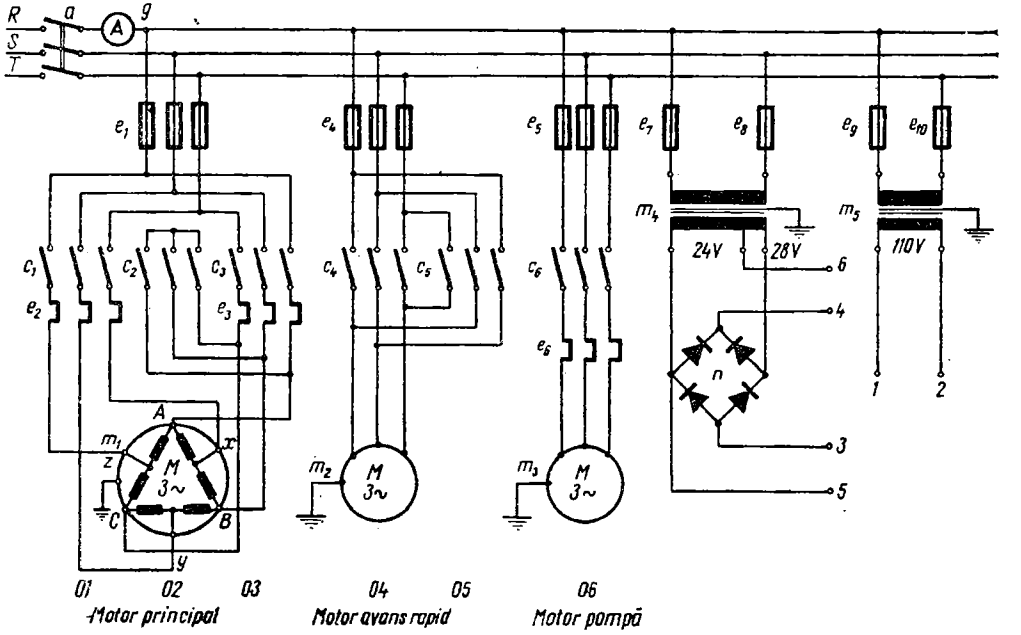


Fig. 11.4. Schema circuitelor de forță de la strungul SNA 360.

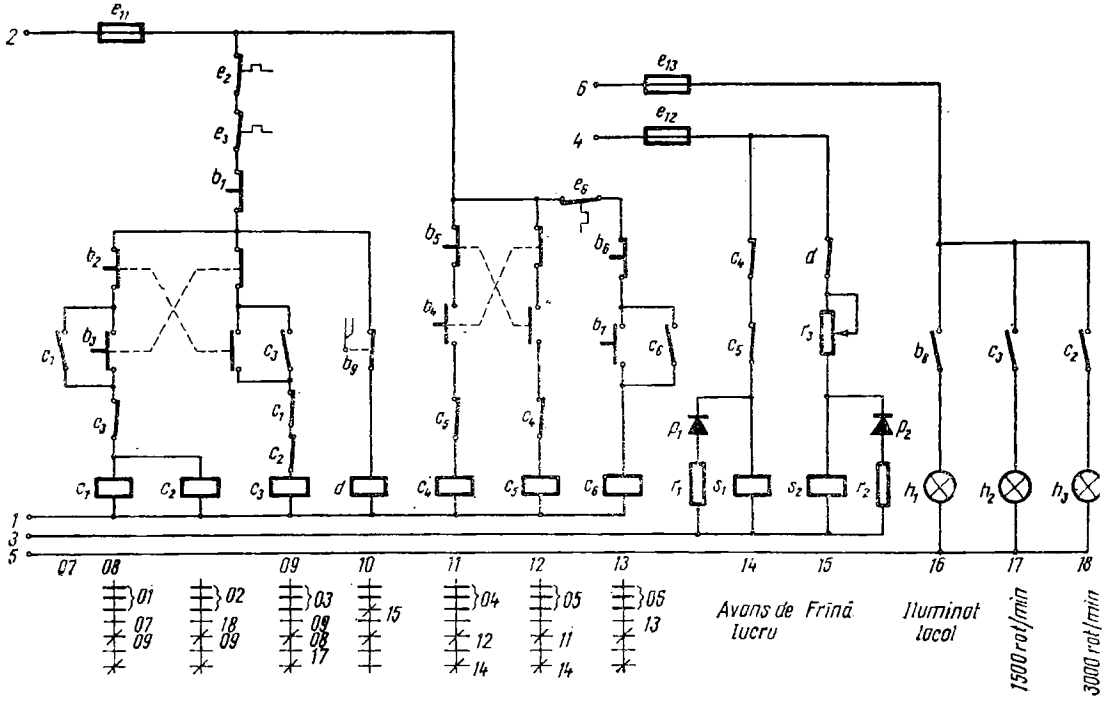


Fig. 11.5. Schema de comandă a strungului SNA 360.

Cuplajul electromagnetic $s1$ transmite mişcarea de la cutia de avansuri la bara de avansuri, dar numai atunci cînd motorul $m2$ nu funcţionează. Cuplajul electromagnetic $s2$ realizează frînarea arborelui principal pentru fiecare oprire a acestuia. Pentru ca frînarea să fie eficientă, dar nu prea bruscă, tensiunea aplicată cuplajului $s2$ se poate regla cu ajutorul rezistorului $r3$.

Transformatoarele, cuplajele electromagnetice, ca şi toate aparatele de comandă şi control sînt protejate împotriva scurtcircuitelor cu ajutorul siguranţelor fuzibile ($e7 \ldots e13$). Carcasele motoarelor electrice şi miezurile transformatoarelor sînt legate la centura de pămîntare.

11.3. MAŞINI DE GĂURIT

Operaţia de găurire fiind o operaţie relativ simplă, mişcările pe care trebuie să le execute organele mobile sînt mişcări simple şi reduse ca număr. În consecinţă atît schemele cinematice cît şi cele de acţionare şi comandă sînt, la rîndul lor, foarte simple.

Maşinile de găurit fabricate în ţara noastră se încadrează într-o gamă de maşini care cuprinde şase tipuri, puterea motoarelor instalate variind în funcţie de diametrul maxim al burghiului, adică de tipul maşinii. În tabelul 11.1 sînt redate cele şase tipuri de maşini de găurit împreună cu caracteristicile motoarelor lor principale. Primele trei tipuri de maşini sînt de masă, iar celelalte sînt cu coloană.

Tabelul 11.1

Maşini de găurit

Nr. crt.	Tipul maşinii de găurit	Ø max (mm)	Tipul motorului	Puterea motorului (kW)	Turaţia (rot/min)	
					Treapta I	Treapta II
1	G 6	6	asincron	0,4	3 000	
2	G 10	10	asincron	0,6/0,8	750	1 500
3	G 12,5	12,5	asincron	0,6	1 500	
4	G 16	16	asincron	1,5	1 500	
5	G 25	25	asincron	3	1 500	
6	G 40	40	asincron	4	1 500	

Schema instalaţiei electrice este, după cum s-a arătat, foarte simplă, diferenţiindu-se doar prin cîteva elemente în plus la unele maşini, cum ar fi aparatele pentru schimbarea sensului sau a turaţiei motorului, circuitele de iluminat etc. Deci instalaţia electrică a maşinilor de găurit cuprinde: circuitele

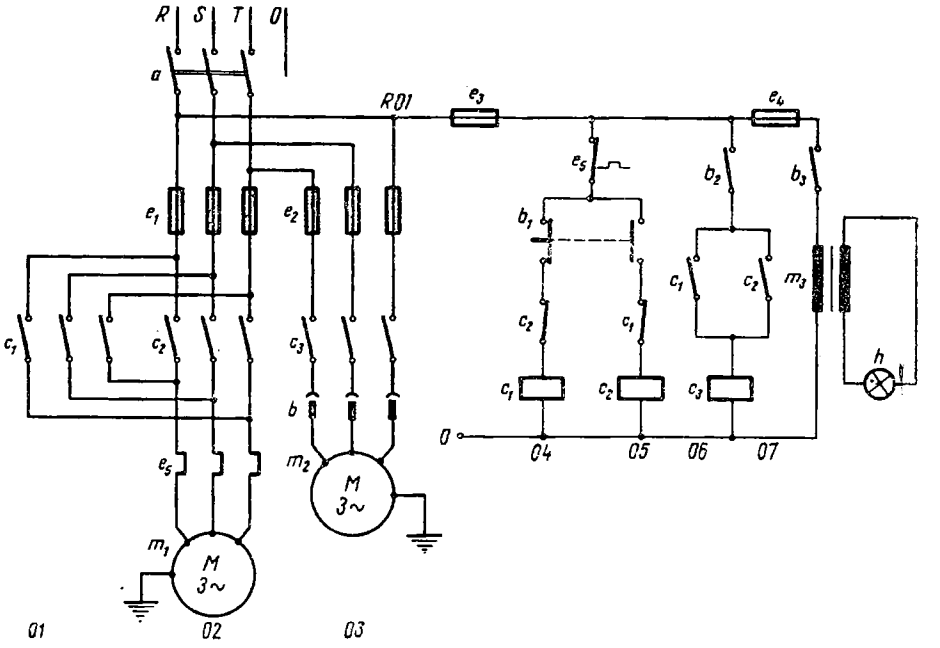


Fig. 11.6. Schema electrică a mașinii de găurit G 40.

de comandă ale motorului, cu reversarea și comutarea numărului de poli dacă este cazul, circuitele elementelor de protecție, de iluminat și, în unele cazuri, ale pompei lichidului de răcire-ungere.

În figura 11.6 se prezintă una din aceste scheme și anume schema de principiu a instalației electrice pentru mașina de găurit de tip G40. Schema este astfel întocmită încît se realizează următoarele funcții:

— pornirea în ambele sensuri precum și oprirea motorului principal, prin comenzi manuale cu ajutorul unei singure manete, *b*1, care acționează cele două contactoare *c*1 sau *c*2;

— pornirea și oprirea pompei de lichid cu întreruptorul *b*2;

— iluminarea locului de lucru cu lampa de masă *h* alimentată de la transformatorul de iluminat *m*3 (220/24 V — 63 VA). Conectarea lui se face cu întreruptorul *b*3.

Întregul panou electric poate fi deconectat de la rețea cu ajutorul întreruptorului pachet principal *a*. Protecția la scurtcircuite este asigurată prin siguranțele fuzibile *e*1. . .*e*4, iar motorul principal este asigurat la suprasarcini de durată cu ajutorul releului termic *e*5.

Mașinile G25 și G40 pot fi echipate și cu un sistem de limitare electrică a adîncimii sau chiar schimbare automată a sensului de rotație și respectiv de avans pentru operații de filetare. Schema electrică de comandă pentru motorul principal (*m*1 din fig. 11.6) în cazul filetării pe mașina de găurit este redată în figura 11.7. Cursa sculei așchietoare este determinată de cele două limitatoare (microîntreruptoare) *b*10 și *b*20. Prin acționarea butonului *b*1, tarodul, antrenat în mișcare de rotație, se apropie de piesă. La scurt

timp după începerea deplasării se închide contactul limitatorului $b20$, schema fiind pregătită pentru retragerea sculei. Acționarea limitatorului $b10$ duce la oprirea prelucrării și totodată la retragerea tarodului, sensul de rotație al acestuia fiind schimbat. Deoarece limitatorul $b10$ este acționat o perioadă scurtă de timp, în paralel cu contactul său *ND* din circuitul *05* s-a prevăzut contactul auxiliar $c2$ (automenținere). Retragerea încetează datorită acționării limitatorului $b20$. Poziția și modul în care sînt acționate cele două limitatoare rezultă din figura 11.8 *a*.

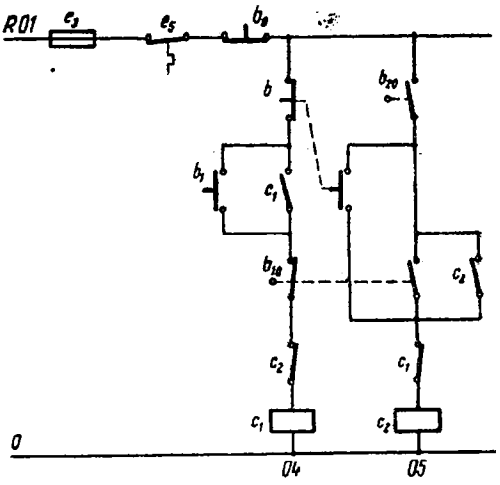


Fig. 11.7. Schema de comandă la prelucrările de filetare pe mașinile de găurit.

Acționarea butonului b are ca efect retragerea tarodului, indiferent de poziția acestuia. Butonul b_0 comandă încetarea operației ce se efectua înaintea acționării acestuia (prelucrare, retragere). Pentru continuarea prelucrării se acționează butonul $b1$, iar pentru continuarea retragerii, butonul b. Ciclograma se prezintă în figura 11.8, *b*.

11.4. MAȘINI DE FREZAT

Dat fiind numărul mare de operații pe care îl pot executa aceste mașini precum și posibilitatea ușoară de automatizare a ciclului de lucru, mașinile de frezat au, în general, scheme complexe de acționare electrică. Posibilitatea de automatizare, chiar pentru serii foarte reduse de piese, se explică prin mișcările de lucru simple ale mașinii, precum și prin viteza lor redusă. De aceea alternarea vitezelor rapide, de apropiere, depășire sau revenire în poziție inițială, cu cele reduse, de avans, este necesară și rațională.

11.4.1. MAȘINA DE FREZAT FUS

Mașina de frezat universală pentru sculărie este acționată de un motor asincron trifazat cu două turații (1 500/750 rot/min). Schema electrică de principiu este prezentată în figura 11. 9. Pornirea motorului $m1$ se face cu ajutorul contactorului c, prin butonul $b5$. Pentru oprire se acționează butonul $b4$. Schimbarea numărului de perechi

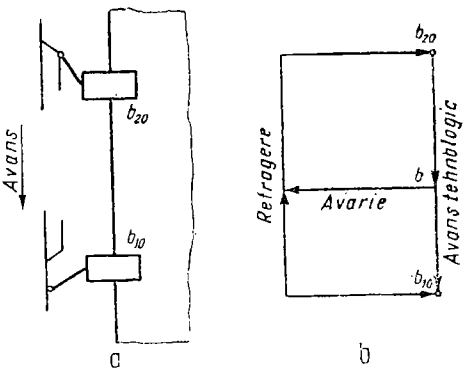


Fig. 11.8. Schema de lucru și filetare pe mașina de găurit:
a — poziția și modul de acționare a limitatoarelor;
b — ciclograma de funcționare.

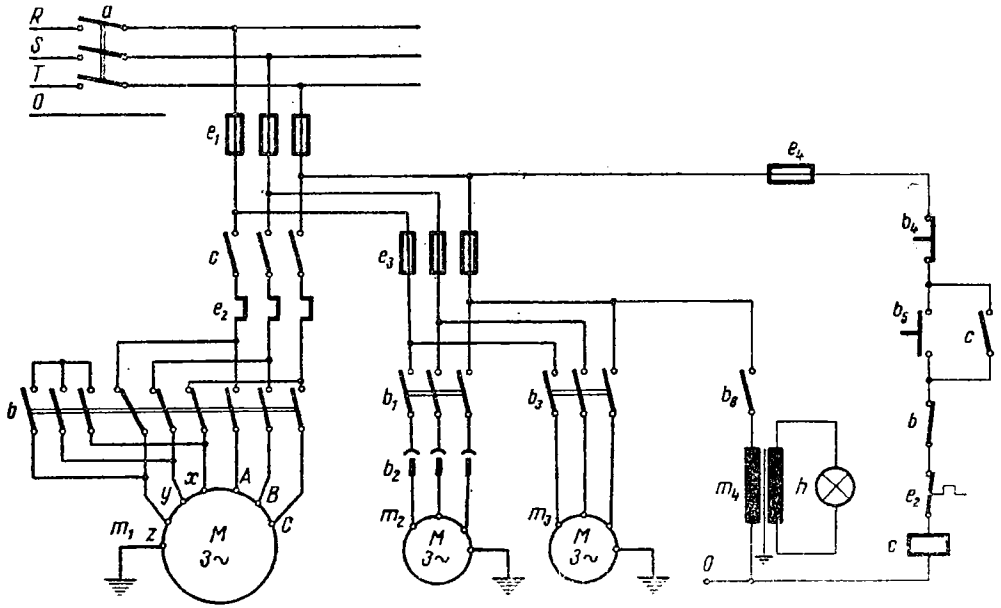


Fig. 11.9. Schema electrică de principiu a mașinii de frezat universală de sculărie.

de poli, deci turația, se face cu ajutorul comutatorului *b* (pentru borne s-au păstrat notațiile utilizate în figura 11.4). Un contact al acestui comutator este inclus în circuitul bobinei contactorului *c* pentru a se înlătura posibilitatea modificării turației cînd motorul funcționează. În momentul în care se trece de la o turație la alta acest contact se deschide pentru scurtă vreme, motorul fiind deconectat de la rețea. Pentru pornirea la noua turație trebuie acționat butonul *b*5. În acest interval de timp turația motorului se reduce suficient, astfel că nu mai există pericolul deteriorării mecanice în urma șocului.

Mașina mai este prevăzută cu un motor *m*3 pentru pompa de lichid și un motor *m*2 pentru frezare rapidă. Motorul *m*2 este conectat la rețea prin intermediul prizei tripolare *b*2. Motoarele *m*2 și *m*3 sînt comandate prin intermediul comutatorului *b*1 și respectiv *b*3. Circuitul de iluminat cuprinde un transformator *m*4 de 220/24 V și o lampă *h*. Toate circuitele sînt asigurate cu siguranțe fuzibile, iar motorul *m*1 este protejat și la suprasarcini de durată (releul termic *e*2).

11.4.2. MAȘINA DE FREZAT FU-1

Schema electrică a acestei mașini de frezat (dealtfel identică cu cea a mașinii FV-1) are un grad de complexitate sporit, fiind redată în figurile 11.10 și 11.11. Mașina este prevăzută cu trei motoare: motorul mișcării principale *m*1 (7 kW — 1 440 rot/min), motorul pentru avansul de lucru și deplasare rapidă *m*2 (1,5 kW — 1 390 rot/min) și motorul pompei de lichid *m*3 (0,25 kW — 2 880 rot/min). Comanda lucrului se poate face manual sau auto-

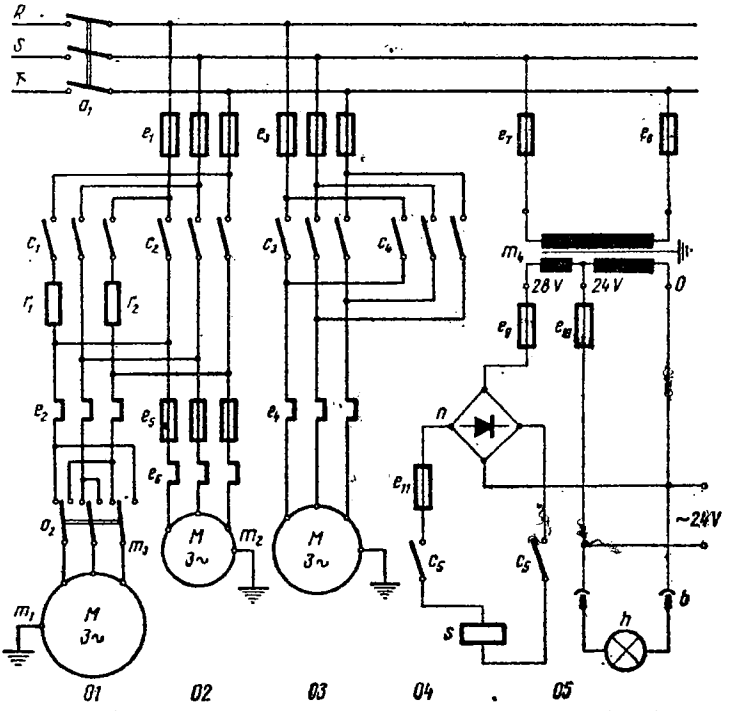
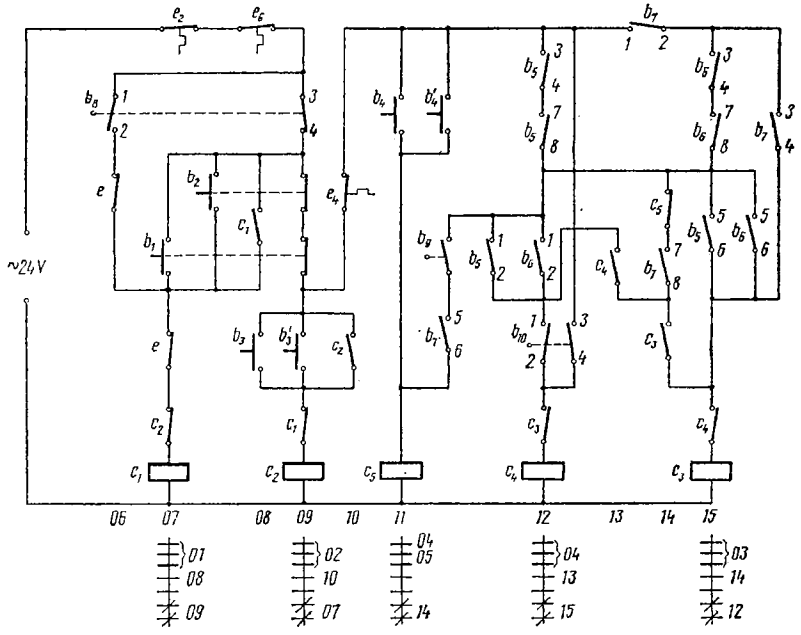


Fig. 11.10. Schema de acționare a mașinii de frezat FU-1.



Poz. cont b_5			
	S	0	J
1-2	—	—	
3-4			—
5-6		—	—
7-8	—		—

Poz. cont b_6			
	S	0	D
1-2	—	—	
3-4			—
5-6		—	—
7-8	—		—

Poz. cont b_7			
	Aut.	Man.	Rot.
1-2	—		—
3-4	—	—	
5-6		—	—
7-8		—	—

Fig. 11.11. Schema de comandă a mașinii de frezat FU-1.

mat, trecîndu-se în prealabil comutatorul *b*7 pe poziția dorită (manual sau automat). Funcționarea schemei poate fi urmărită în figura 11.11, ținîndu-se seama și de legenda anexată.

Comenzi electrice manuale. Prin comenzile electrice manuale se pot efectua următoarele operații:

— pornirea și oprirea motorului principal cu ajutorul butoanelor *b*1, *b*2 și *b*3;

— deplasarea spre stînga sau spre dreapta prin intermediul manetei amplasate în partea din față a mesei;

— deplasarea consolei în sus în sau jos cu ajutorul manetei amplasate lateral pe consolă; ea acționează declanșatoarele basculante de comandă.

Utilizînd aceeași manetă se poate comanda și deplasarea transversală a mesei. Conexiunile sînt astfel făcute încît sensul deplasării organului comandat să coincidă cu sensul de înclinare a manetei de comandă. Aceleași mișcări pot fi realizate cu viteză mărită prin conectarea electromagnetului *s*, care, indiferent de poziția preselectorului de avansuri, realizează cuplarea roților de așa manieră încît avansul este mare (butonul *b*4).

Oprirea mesei în anumite poziții se realizează cu ajutorul opritoarelor montate în canalele laterale ale mesei și care acționează asupra manetei de comandă. Comenzile pentru deplasări simultane în direcții (sensuri) diferite nu sînt posibile. Acest lucru se asigură pe calea blocajelor electrice.

Comenzi automate. Pentru trecerea de la comanda manuală la cea automată se aduce în primul rînd comutatorul modulului de lucru *b*7 pe poziția automat. Lucrul automat este posibil doar pentru masa longitudinală, realizat în cicluri simple, cu ajutorul unui set de came care acționează asupra manetei de comandă.

Ciclurile mișcărilor automate sînt:

a. Pornirea prin apăsare pe butonul de pornire, mers spre dreapta sau spre stînga cu avans de lucru pînă la opritor, deplasare rapidă și oprire în poziția dorită.

b. Pornirea prin apăsare pe butonul de pornire, mers spre stînga sau spre dreapta cu avans tehnologic sau deplasare rapidă, comutarea avansului de două sau mai multe ori și oprire. Această variantă se utilizează în cazul frezării succesive. În ambele cazuri se pot realiza și deplasări de întoarcere în poziția inițială și oprire în această poziție.

În timpul schimbării sensului de deplasare circuitele de comandă ale contactoarelor pentru mersul automat spre stînga sau spre dreapta (*c*3 sau *c*4) se alimentează pe căile normale. Să presupunem că inițial sensul de deplasare al mesei este spre dreapta. În această situație bobina contactorului *c*4 este sub tensiune. În momentul schimbării sensului de deplasare al mesei opritorul de inversare trece maneta de comandă pe poziția oprit, deschizînd contactul *b*6 (*1—2*), dar *b*7 (*7—8*) fiind închis, circuitul nu se întrerupe. Deplasîndu-se în continuare, opritorul de inversare va împinge maneta de comandă, închizînd contactul *b*6 (*5—6*). Bobina contactorului *c*3 nu primește însă tensiune deoarece bobina contactorului *c*4 fiind încă sub tensiune, contactul auxiliar este deschis (blocaj electric). Imediat ce maneta a atins poziția de mers spre stînga, același opritor închide, prin intermediul unei steluțe, contactul limitatorului *b*9. În acest mod se pune sub tensiune bobina

$c5$, se deschide contactul normal închis $c5$ și bobina contactorului $c4$ este scoasă de sub tensiune. Datorită acestui fapt se închide contactul auxiliar $c4$ (circuitul *15*), bobina $c3$ primește tensiune și motorul este cuplat în sens invers.

La mașinile FU-1 și FV-1 pot fi realizate și cicluri repetate, de exemplu: pornirea prin apăsare pe buton, deplasare spre stînga, oprire, întoarcere spre dreapta, oprire, din nou întoarcere și așa mai departe. Deplasările spre dreapta sau spre stînga se pot realiza cu schimbare de viteze (rapidă și de avans). Încetarea ciclului se face prin acționarea butonului pentru oprire. Mașina poate funcționa și cu masă rotativă, în care caz comutatorul $b7$ de pe ușa din dreapta se pune pe poziția respectivă, iar manetele pentru deplasările liniare se pun în poziția de repaus.

Schimbarea vitezei și sensului de rotație al arborelui principal. Pentru schimbarea turației este necesar ca roțile dințate să se afle în mișcare de rotație un timp scurt în vederea ușurării intrării lor în angrenare. În acest scop s-a introdus limitatorul $b8$ ($b10$ pentru schimbarea avansurilor) acționat de rozeta de schimbare a turațiilor. În momentul modificării turațiilor se deschide contactul $b8$ (*3—4*) și se închide contactul $b8$ (*1—2*), alimentînd bobina contactorului $c1$. Durata de conectare a motorului prin $c1$ este foarte scurtă. Limitatorul $b10$ îndeplinește aceeași funcție la schimbarea avansurilor.

Schimbarea sensului de rotație se face prin inversarea a două faze cu ajutorul comutatorului $a2$, de tip pachet, montat pe ușa din stînga batiului.

Frînarea. Pentru reducerea timpului de oprire a mașinii s-a prevăzut un sistem de frînare. Acesta este acționat de la butonul de stop ($b1$ sau $b2$). Prin apăsarea lui se deschide circuitul de alimentare al contactorului $c2$ și se închide cel al contactorului $c1$ care conectează invers fazele motorului. Pentru limitarea valorii curenților au fost introduse două rezistoare ($r1$ și $r2$). Procesul de frînare durează pînă la scăderea turației la o valoare apropiată de zero, situație în care se deschid contactele releului de frînare e, contactorul $c1$ fiind deconectat. Aceste contacte sînt menținute închise pe durata funcționării motorului (dispozitiv special centrifugal sau magnetic).

11.5. MAȘINI DE BROȘAT

Datorită faptului că operația de broșare este relativ simplă nici schemele electrice nu sînt, de regulă, complicate. Broșa execută o mișcare rectilinie (avansare, retragere) fără să se rotească în jurul axei sale de simetrie. Atît avansarea cît și retragerea sculei se fac hidraulic, motiv pentru care schema electrică va conține și electromagneții distribuitoarelor hidraulice utilizate.

În figura 11.12 se prezintă schema electrică de principiu a unei mașini de broșat. Motorul electric m antrenează pompa de ulei, pentru pornire acționîndu-se butonul $b2$ (în prealabil s-a racordat instalația electrică la rețea cu ajutorul întreruptorului a). Cei doi electromagneți, $s1$ și $s2$, sînt comandați de contactoarele de comandă $d1$ și respectiv $d2$. Pentru avansarea broșei se apasă pe butonul $b3$, iar pentru retragere pe $b4$. Cele două limitatoare, $b6$ și $b7$, delimitează cursa sculei, ele avînd funcții analoage cu limitatoarele de cursă din figura 11.7.

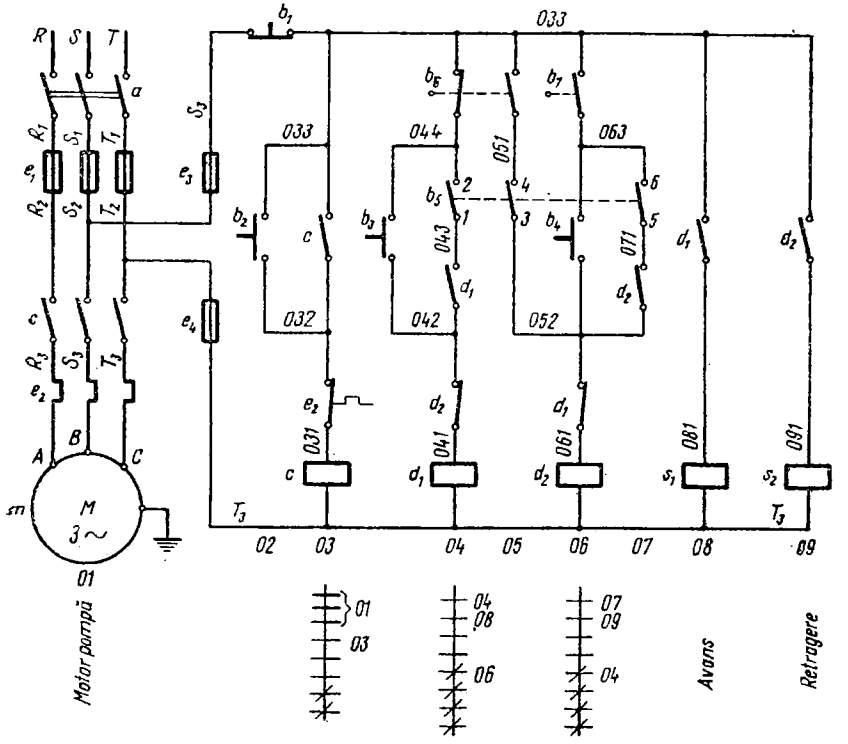


Fig. 11.12. Schema electrică de acționare și comandă a unei mașini de broșat.

Dacă contactele *1—2* și *5—6* ale comutatorului cu came *b*5 sînt deschise, atunci broșa se deplasează (avansare sau retragere) doar atît timp cît butonul *b*3 sau *b*4 este acționat. Cînd și contactul *3—4* este deschis se poate face un reglaj corect al cursei broșei. Ciclul de lucru se realizează automat cînd toate contactele comutatorului *b*5 sînt închise. Pentru oprire se folosește butonul *b*1.

Instalația electrică este protejată împotriva scurtcircuitelor cu ajutorul siguranțelor fuzibile *e*1, *e*3 și *e*4. Motorul electric este protejat și împotriva suprasarcinilor de durată (releul termic *e*2).

11.6. MAȘINI PENTRU PRELUCRĂRI PRIN DEFORMARE

Aceste mașini au o funcționare ciclică și grafice de sarcină ce prezintă vîrfuri de șoc pronunțate. Motorul electric fiind cuplat cinematic cu mașina va funcționa cu șocuri periodice de sarcină. În plus rețeaua de alimentare cu energie electrică va suporta importante șocuri de curent și putere, fapt ce poate deranja alți consumatori. Atenuarea acestor inconveniente, ca și supraîncărcarea motorului în cursul șocurilor de sarcină, se poate obține prin utilizarea volantului. Corp cu masă inerțială în special în mișcare de rotație,

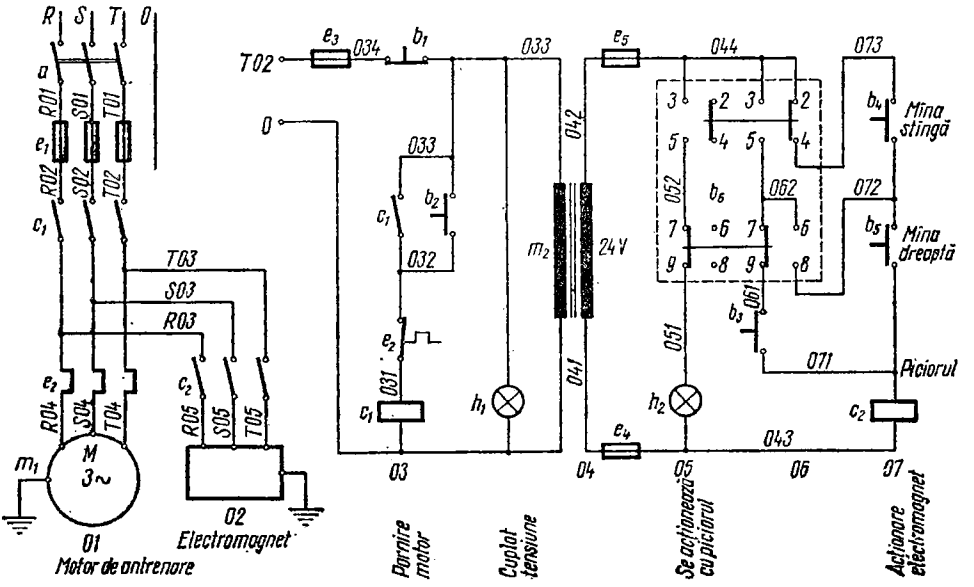


Fig. 11.13. Schema de comandă a unei prese mecanice de 150 kN.

volantul acumulează energie cinetică în timpul funcționării în gol (sau cu sarcină redusă) și o cedează în cursul intervalelor de șoc.

Varietatea mare de mașini de prelucrat prin deformare (mașini de presat sau prese) face ca și schemele lor electrice să difere, unele avînd un grad de complexitate foarte ridicat. Comun rămîne însă faptul că volantul este antrenat continuu de către motor, în timp ce legătura cinematică dintre acesta și berbec se realizează în mod discontinuu.

În figura 11.13 este redată schema electrică de principiu pentru o presă de 150 kN. Motorul de antrenare *m*1 se pornește prin acționarea butonului *b*2. Antrenarea berbecului se face dacă electromagnetul trifazat *s* este alimentat. Comanda se poate realiza în trei moduri, în funcție de realizarea uneia sau alteia din cele trei combinații posibile ale contactelor cheii de comandă *b*6 (conform fig. 7.27). Acestea sînt: acționarea cu mîna dreaptă (butonul *b*5), cu ambele mîini (*b*4 și *b*5) sau cu piciorul (pedala *b*3). Ultima variantă este semnalizată optic de lampa *h*2, în timp ce lampa *h*1 indică racordarea instalației la rețeaua de alimentare. Trebuie remarcat faptul că bobina contactorului *c*2 este sub tensiune doar intervalul de timp în care sînt acționate butoanele *b*4, *b*5, respectiv pedala *b*3. Tensiunea de 24 V (protecția muncii) se obține de la transformatorul *m*2. Pentru oprire se acționează butonul *b*1. Protecția este realizată prin siguranțe fuzibile (scurtcircuite) și releu termic (suprasarcini de durată).

Montarea aparatelor în interiorul și pe ușa tabloului electric este prezentată în figura 11.14. Bornele acestora au fost numerotate în conformitate cu nota-

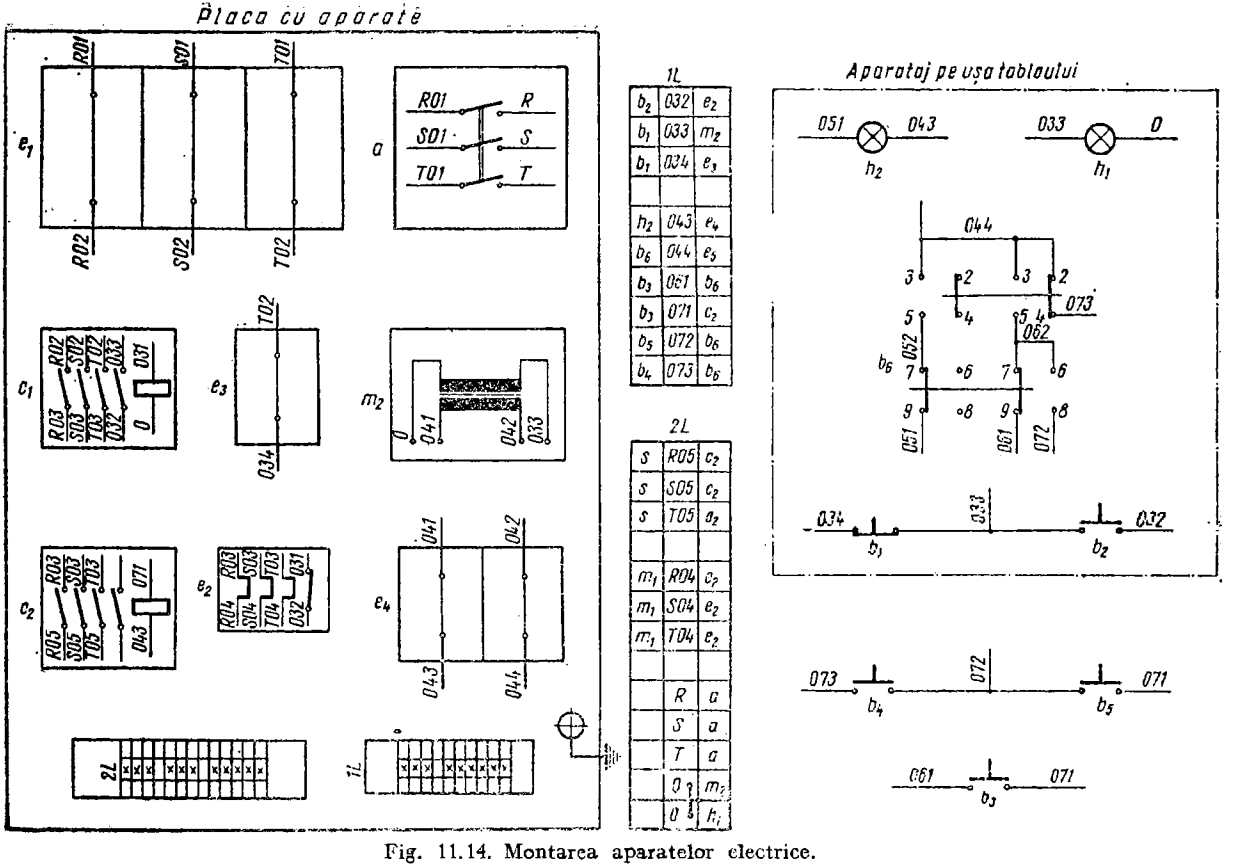


Fig. 11.14. Montarea aparatelor electrice.

țiile din figura 10.13. Cele două șiruri de conectoare (1*L* și 2*L*) permit realizarea legăturilor electrice dintre aparatele aflate în tabloul electric și restul instalației electrice (motor, electromagnet, pedală etc.), respectiv legătura cu rețeaua de alimentare.

11.7. MAȘINI DE COPIAT

După modul în care este transformată și transmisă informația de la șablon, piesa etalon sau desen, mașinile electrice de copiat pot fi electrice propriu-zise sau electronice. În cele ce urmează se analizează pe scurt cele două tipuri de mașini de copiat.

11.7.1. MAȘINI DE COPIAT ELECTRICE

Schema bloc. Părțile componente ale instalațiilor electrice ale mașinilor de copiat se pot grupa în patru blocuri, care cuprind: elementele de comandă, intermediare, conduse (de execuție) și, respectiv, de alimentare.

Elementele de comandă cuprind șablonul, palpatorul și ansamblul traductor, deci constituie sursa de informație. Elementele intermediare sînt acele părți care preiau și memorizează comanda primită de la sursa de informație și sînt constituite din relee, întreruptoare, limitatoare, contactoare, elemente de comutație statică etc.

Comanda amplificată și de un anumit semn este transmisă elementului de execuție care poate fi, în cazul de față, un motor electric. Mișcarea generată se transmite sculei prin lanțul cinematic respectiv, avînd o mărime și un sens care corespund informației. În paralel cu deplasarea piesei are loc și deplasarea șablonului sau a capului portsculă de așa manieră încît se realizează legătura inversă, numită *de reacție*. Tocmai realizarea corectă a acestei legături inverse asigură precizia impusă mașinii-unelte respective. După cum se știe, legătura inversă, reacția, poate fi negativă sau pozitivă, adică se scade sau se adună informației.

Reglarea mașinii poate să fie continuă sau intermitentă. Caracterul continuu sau discontinuu al reglajului este dat de modul de intercondiționare a diferitelor blocuri care compun schema.

Schema cinematică de acționare. Pentru formarea suprafețelor complexe ale pieselor, mașina-unealtă trebuie să asigure mișcări relative piesă-sculă după cele trei axe de coordonate. Aceste mișcări sînt realizate de către suporți și mese antrenate electric prin intermediul unor lanțuri cinematice mai mult sau mai puțin complexe. Deoarece realizarea tuturor mișcărilor de generare doar de către sculă duce la complicații mari de ordin constructiv, de regulă două din aceste mișcări sînt realizate de sculă (verticală și transversală), iar a treia (laterală stînga-dreapta) de către masa portpiesă.

Sisteme de copiere. Orice mașină de copiat care prelucrează piesele prin mișcare de translație folosește diferite metode de explorare a suprafeței șablonului, lucru care diferențiază construcția mașinilor respective.

Conturul piesei se încadrează într-un dreptunghi sau pătrat. Una din laturile acestei figuri constituie baza de referinţă faţă de care se limitează sensul mişcării de explorare cu ajutorul limitatoarelor de cursă.

De-a lungul cursei liniare palpatorul sesizează denivelările şablonului care, transformate în mărimi electrice, sînt transmise blocurilor următoare. Se deosebesc două metode principale de explorare, şi anume:

— explorarea pe verticală, cu avans orizontal intermitent;

— explorarea pe orizontală, cu avans vertical intermitent.

În practică însă, de multe ori, configuraţia în plan a piesei reclamă curse mai scurte decît limitele figurii geometrice în care a fost inclusă. În aceste cazuri este raţional ca explorarea să se facă în etape, prin reglări succesive ale limitatoarelor.

Părţile componente ale schemei electrice. În echipamentul electric al maşinilor de copiat se găsesc următoarele părţi componente: traductoare, amplificatoare, surse de alimentare, contactoare, relee, limitatoare de cursă sau de avarie, electromotoare, cuplaje electromagnetice, butoane, aparatură de măsură şi control, lămpi de semnalizare. În marea lor majoritate aceste aparate şi dispozitive electrice nu sînt specifice doar acestor maşini şi de aceea ele sînt, practic toate, normalizate, fiind prezentate în capitolele anterioare.

Cele mai utilizate traductoare sînt: traductoare cu contacte, cu contacte în mercur, pneumatice cu contacte, cu rezistenţă (cu pastile de grafit), cu celule fotoelectrice etc.

Ca amplificatoare se utilizează amplificatoarele electromagnetice şi magnetice Acestea transmit energia electrică elementelor de execuţie care pot fi, după cum s-a arătat, motoare electrice de curent continuu sau alternativ şi relee, ambreiaje electromagnetice sau electromagneţi pentru diverse acţionări. Restul elementelor sînt de utilizare generală, însă legate conform scopului, adică al comenzilor succesive automate. Pentru exemplificare se prezintă în figura 11.15 schema electrică de comandă şi acţionare a maşinii FKO 8a, produsă în R.S.C.

Sistemul de copiere este prevăzut cu traductor cu palpator cu contacte. Şablonul împreună cu piesa se găsesc pe masa maşinii care execută două mişcări, şi anume cea transversală şi cea longitudinală. Pe verticală mişcările sînt asigurate de capul portsculă.

Maşina este echipată cu şase motoare electrice:

*M*1 — motorul convertizorului pentru alimentarea cu curent continuu a ambreiajelor electromagnetice (0,8 kW — 1 400 rot/min);

*M*2 — motorul pentru avansul rapid al capului de lucru (1,1 kW — 1 400 rot/min);

*M*3 — idem, pentru deplasările în planul orizontal al mesei (1,1 kW — 1 400 rot/min);

*M*4 — motorul mişcării principale, de antrenare a sculei (3 kW — 1 420 rot/min);

*M*5 — motorul pentru avansurile tehnologice (0,7 kW — 900 rot/min);

*M*6 — motorul pompei de lichid de răcire-ungere (0,3 kW — 2 800 rot/min).

Funcţionarea generală a schemei este următoarea: odată cu acţionarea întreruptorului general *NV* se aprind lămpile de semnalizare *Sig* 1 şi *Sig* 2 şi se alimentează circuitul de comandă prin punctele *A* şi *B*. Motorul *M*1

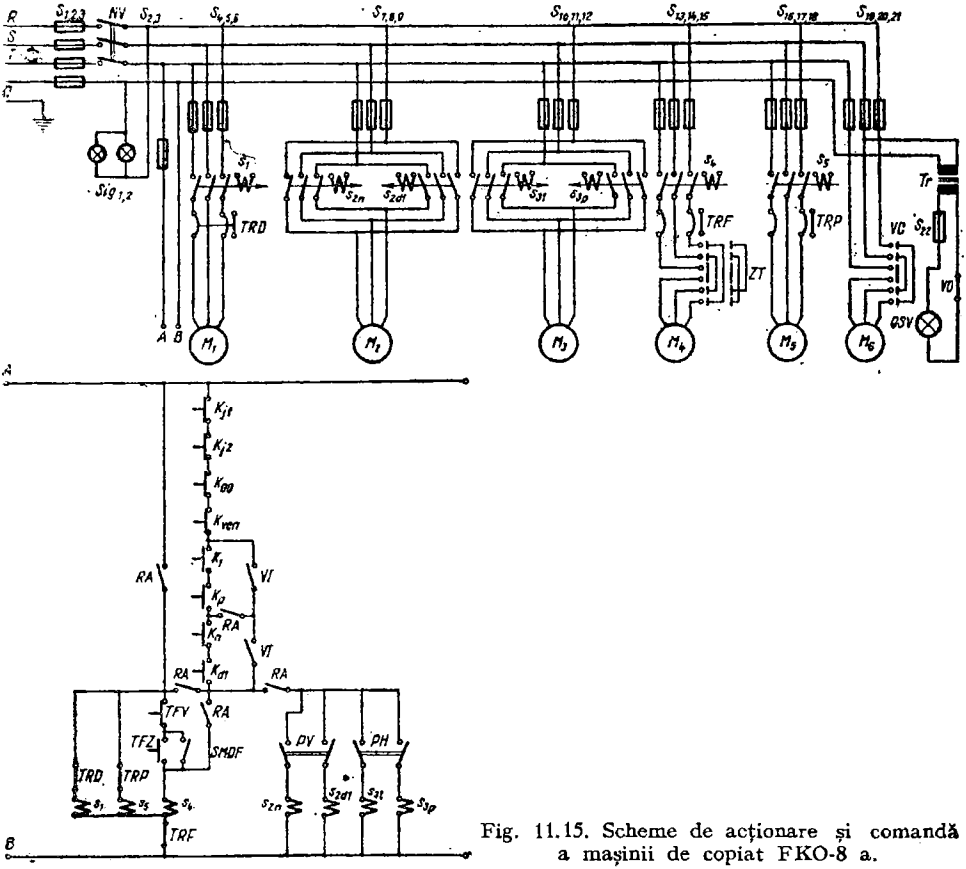


Fig. 11.15. Scheme de acționare și comandă a mașinii de copiat FKO-8 a.

este alimentat cu ajutorul contactorului *s*1 (notațiile din figură și text sînt conform celor din cartea mașinii) și asigurat prin siguranțele *S*4 — *S*6 și releul termic *TRD*. Motorul pentru avansurile de lucru *M*5 este conectat prin contactorul *s*5 și asigurat cu siguranțe fuzibile (*S*16—*S*18) și releu termic *TRP*. Cele două bobine ale contactoarelor *s*1 și *s*5 sînt conectate simultan prin comutatorul *RA* și contactul *NI* al releului termic *TRF* al motorului acționării mișcării principale *M*4.

Motoarele deplasărilor rapide în plan vertical și orizontal *M*2 și *M*3 sînt conectate prin contactorul *s*2*n* și *s*2*d*1, respectiv *s*31 și *s*3*p*, fiecare grup corespunzînd unui sens de rotație al motorului respectiv. Alimentarea bobinelor contactoarelor se face prin grupul de limitatoare *K* (în serie) și prin contactele *RA* în funcție de poziția comutatoarelor *PV* și *PH*. Mișcarea principală, rotirea frezei, se comandă prin contactorul *s*4 și comutatorul inversor *ZT*, circuitul de forță fiind protejat prin releul termic *TRF*. Conectarea contactorului *s*4 se poate face deci fie prin limitatoarele *K* înseriate cu *RA*, fie prin butonul *TFZ* și același comutator *RA*. După apăsarea butonului *TFZ* bobina rămîne anclanșată deoarece se închide contactul de automenținere *SMDF*.

Circuitul motorului de pompă precum și cel de iluminat, adică al motorului *M6*, respectiv al lămpii *OSV*, se conectează numai manual prin întreruptoarele *VC*, respectiv *VO*. Tensiunea lămpii de iluminat este de 24 V.

Motorul *M5*, care se rotește continuu, transmite mișcarea într-un sens sau altul printr-un inversor cu roți dințate. Acest inversor se cuplează pentru un sens sau altul cu ajutorul unui cuplaj electromagnetic dublu. Cuplajul este înzestrat și cu cîte o frînă electromagnetică prin care constanta de timp se micșorează și deci crește mult fidelitatea de urmărire a mașinii, în final crescînd precizia de generare.

Limitatoarele *Kj*1, *Kj*2, *KD*0 și *Kven* sînt folosite în circuitul de comandă drept limitatoare de avarie, iar limitatoarele *K*1, *Kp*, *Kn*, *Kd*1 sînt folosite pentru schimbarea sensului mișcării.

11.7.2. MAȘINI DE COPIAT ELECTRONICE

Principiul de funcționare al mașinilor de copiat electronice este asemănător celor electrice. Și în acest caz traductorul de copiere sesizează forma șablonului transformînd-o în mărimi electrice care, amplificate în tensiune și putere, sînt transmise elementelor de execuție. Traductorul se mișcă odată cu scula, păstrînd deci același element de referință. Evident că și în cazul mașinilor electronice se vor întîlni cele trei avansuri: longitudinal, vertical (deci de explorare orizontală sau verticală) și transversal de adîncime.

Caracteristică acestor mașini este însă existența amplificatoarelor electronice sau ionice, de cele mai multe ori urmate de amplificatoare de putere electromecanice sau magnetice. Amplificarea mare a semnalului de comandă permite utilizarea unor traductoare de mare sensibilitate, fără contacte, deci cu o reglare continuă. Presiunea pe șablon fiind foarte mică, se pot utiliza șabloane mai ușor de confecționat și deci ieftine.

O noutate însemnată introdusă în construcția acestor mașini constă în acționarea avansurilor de lucru cu viteze variabile, lucru care, deși mărește considerabil complexitatea mașinii, asigură în schimb o productivitate și în special o precizie mult mărită.

Cele două avansuri, longitudinal și transversal, trebuie să se găsească într-o anumită corelație, în așa fel încît viteza de deplasare pe porțiunile înclinate să fie aceeași în tot timpul explorării, respectiv al prelucrării. Numai în acest caz suprafața are o calitate constantă pe toate porțiunile piesei, indiferent de panta profilului. Pentru aceasta este necesar, așa cum s-a arătat, ca turația motorului de acționare a avansului să fie variabilă.

În construcția mașinilor de copiat electronice se utilizează în acest scop, alături de amplificatoarele proporționale și cele operaționale derivative, PD, integrative, PI, sau combinatele acestora, PDI. Comanda derivată se face funcție de derivata în raport cu timpul, cu alte cuvinte în raport cu viteza de variație a semnalului. Sistemul, în acest caz acționînd mai repede la variațiile bruște, va asigura o precizie mai mare de copiere. Dimpotrivă, comanda integrativă se face în funcție de integrala deplasării în raport cu timpul. În acest fel la profile constante se execută o copiere continuă, vîrful palpatorului rămînînd în poziție constantă.

În ceea ce privește schema cinematică, deosebiri esențiale nu există între cele două tipuri de mașini, cele trei avansuri caracteristice mașinilor de copiat (avansul pilot, periodic și de urmărire) fiind acționat și în aceste caz de motoare separate prin lanțuri cinematice proprii. Inversarea sensurilor de mișcare se face de cele mai multe ori de la motor, mișcarea respectivă transmițîndu-se, cum s-a arătat, prin angrenaje și cupla cinematică șurub-piuliță.

Ca o concluzie trebuie arătat faptul că mașinile electronice, comparativ cu cele electrice, în afară de avantajul principal legat de precizia și fidelitatea urmăririi, pot avea un gabarit mai redus, în special în aparatură. Miniaturizarea blocurilor este posibilă prin utilizarea semiconductoarelor, a circuitelor integrate, procesoarelor, fapt ce permite totodată realizarea blocurilor respective sub formă de module interschimbabile, pe funcții. În cazul unei avarii se schimbă întregul modul cu unul similar, iar între timp se repară defecțiunea apărută. Un alt avantaj important constă în posibilitatea simplă de includere a mașinii într-un sistem de automatizare complex.

Ca dezavantaje principale se pot da: prețul de cost mai ridicat, complexitate mai mare, întreținere complicată, fiabilitate deocamdată mai redusă.

Ansamblurile care compun mașinile de copiat electronice sînt: ansamblul de citire (capete de copiere, traductoare, palpatoare), amplificatoare, elemente de comandă (memorizare) și execuție și surse de alimentare.

Traductoare. Traductoarele întrebuințate în construcția mașinilor de copiat electronice sînt de tipul fără contacte (cu reglare continuă) pentru deplasări liniare (în majoritatea cazurilor). Utilizarea acestor tipuri de traductoare permite obținerea unor avansuri continue, lucru imposibil de realizat în cazul celor cu contacte.

Forța de apăsare necesară foarte mică, de numai 0,1...1,5 N (față de 1...5 N în cazul traductoarelor cu contacte), permite folosirea unor șabloane foarte simple, ușor de confecționat și cu uzură extrem de mică în timp. Cele mai utilizate traductoare sînt: traductoarele inductive (toate tipurile), capacitive, piezoelectrice (mai puțin răspîndite), fotoelectrice etc.

Amplificatoare. Amplificatoarele utilizate în construcția mașinilor de copiat electronice sînt de cele mai multe ori electronice, parțial ionice, iar în cazul puterilor mari, ca etaj de ieșire, electromecanice sau magnetice. Dealtfel îmbinarea etajelor electronice sau ionice cu amplificatoare magnetice este, în ultimul timp, foarte des utilizată. Dintre amplificatoarele electronice cele mai utilizate sînt cele diferențiale, de curent continuu, sensibile la fază, și cele operaționale.

Elemente de execuție. Elementele de execuție sînt aceleași ca în cazul mașinilor de copiat electrice. Drept elemente de reacție, de legătură inversă, în afară de traductoarele clasice identice cu cele de la intrare, se folosesc selsinele, arborii electrici, motoarele pas cu pas. Acestea din urmă pot fi folosite ca elemente de execuție, fiind comandate cu impulsuri, atît în construcția mașinilor de copiat cît și în construcția mașinilor cu comandă după program, de exemplu pentru avansarea cartelei perforate.

11.8. INSTALAȚIA ELECTRICĂ A MAȘINILOR AGREGATE ȘI A LINIILOR AUTOMATE

Ca în toate cazurile, instalația electrică a mașinilor agregate și a liniilor automate are rolul de a asigura acționarea electrică a organelor de lucru și auxiliare, precum și comanda acestei acționări. În mod deosebit, în cazul acestor mașini, instalația electrică trebuie să asigure comanda automată a desfășurării lucrului în baza unui ciclu stabilit din condițiile tehnologice. Totodată ea, avînd rolul de element coordonator, va asigura realizarea operațiilor auxiliare, de prindere a piesei, centrare, strîngere, măsurare periodică sau continuă a cotei prelucrate, îndepărtare a așchiilor, desprindere a piesei, în unele cazuri chiar transportul ei la postul vecin de lucru. Toate aceste operații auxiliare se fac, desigur, într-o anumită succesiune și interdependență, din care cauză în componența instalației electrice vor intra atît elemente de control (reacție) cît și elemente limitative și de avarie. Deci, în instalațiile electrice ale mașinilor agregate și ale liniilor automate vor intra două feluri de circuite: circuite clasice de acționare și circuite de comandă automatizate, care să asigure succesiunea și durata operațiilor și fazelor componente ale ciclului de mașină.

11.8.1. ELEMENTE DE ACȚIONARE

Ca element de acționare folosit, cu foarte rare excepții, este motorul electric asincron cu rotorul în scurtcircuit. Dată fiind puterea relativ mică consumată de fiecare unitate în parte, motoarele utilizate nu depășesc puterea de 10 kW la turații nominale de 750, 1 000, 1 500 rot/min și în cazul pompelor, mai rar în mișcarea principală, de 3 000 rot/min. Motoarele des întîlnite sînt cele de 1 000 și 1 500 rot/min, cu puteri normalizate pentru diferite unități tipizate.

În cazurile în care prelucrarea se face la cote fixe, cu antrenare mecanică, se utilizează frînarea părților mobile, cel mai adesea chiar la motor. Frînarea se poate face mecanic sau prin una din frînările electrice cunoscute. O metodă mai bună pentru oprirea exactă, într-un anumit punct, a organului mobil antrenat este încetinirea avansului în apropierea punctului de oprire, pentru micșorarea inerției, și apoi oprirea la punctul dorit. O astfel de comandă este însă greu de realizat electromecanic, dar foarte simplu cu sisteme electrohidraulice.

11.8.2. PRESCRIPȚII GENERALE REFERITOARE LA PROIECTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE ALE MAȘINILOR AGREGATE ȘI LINIILOR AUTOMATE

Condițiile care se pun mașinilor agregate și liniilor automate sînt: în primul rînd productivitatea ridicată, calitatea superioară a pieselor prelucrate, securitate ridicată de lucru, avarii cît mai puține și posibilitate de înlăturare rapidă a lor etc. Aceste condiții afectează în mare măsură instalația electrică a mașinilor respective.

Dat fiind faptul că s-a generalizat sistemul alternativ trifazat al rețelelor electrice, alimentarea cea mai rațională este cea în curent alternativ. Deși funcționarea aparaturii electrice în curent continuu este mai silențioasă, realizîndu-se în unele cazuri randamente mai ridicate, este preferată cea de curent alternativ din cauza simplității sale și gabaritelor ceva mai reduse. În cazul alimentării din rețelele de tensiune înaltă se recomandă separarea rețelei prin transformatoare, secundarul nepunîndu-se la pămînt. În ceea ce privește iluminatul, fie la locul de așchiere, fie pentru semnalizare, se va face la maximum 24 V. Aceeași tensiune se preferă și în circuitele de comandă și automatizare, pe de o parte din motive de securitate a muncii, pe de altă parte din motive de durabilitate a aparatajului.

Pentru protecția la scurtcircuit se preferă, în majoritatea cazurilor, siguranțele fuzibile, ca urmare a gabaritului lor redus și a siguranței în funcționare.

În prezent multe unități au fost tipizate, astfel că la proiectarea liniei automate se leagă organic diferite astfel de unități.

11.8.2.1. MIȘCAREA PRINCIPALĂ (DE AȘCHIERE)

Această mișcare este realizată la mașinile agregat de un motor electric comandat de către un contactor, sau două contactoare dacă motorul trebuie să se rotească în ambele sensuri. Comanda poate fi dată manual, prin butoane, sau combinat, prin butoane de pornire, și restul, reversarea și oprirea, prin limitatoare de cursă. În cazul în care se utilizează motoare cu mai multe turații, numărul de contactoare se mărește corespunzător, utilizîndu-se sisteme de blocare electrică pentru evitarea conectărilor duble.

11.8.2.2. COMANDA AVANSURILOR

Felul comenzii deplasărilor organelor mobile ale mașinii sau unităților liniei automate depinde de modul de acționare al mișcării respective, adică electromecanic cu camă, șurub-piuliță sau cu cremalieră, hidraulic, pneumatic sau hidropneumatic.

În cazul acționării electromecanice motorul poate să se rotească continuu, prin camă realizîndu-se diferitele deplasări, sau discontinuu, cu turații diferite, în cazul acționării cu șurub-piuliță sau cu cremalieră.

La acționările hidraulice sau pneumatice comanda distribuitoarelor se face cu electromagneți, a căror conectare are loc în baza ciclului de lucru.

11.8.2.3. REALIZAREA CICLULUI AUTOMAT DE LUCRU AL UNITĂȚILOR PRELUCRĂTOARE

Succesiunea comenzii este următoarea: element de comandă manual sau limitativ (buton de comandă sau limitator de cursă), elemente intermediare de memorizare a comenzii (contactoare, relee intermediare, electromagneți) și, în fine, elementul de execuție (motor electric, hidraulic etc.), care asigură antrenarea elementului mobil al mașinii. Comenzile se pot da în funcție de diverși parametri și anume în funcție de cursă, de timp sau de sarcină.

Reglarea în funcție de cursă este foarte larg folosită în cazul mașinilor agregate și al liniilor automate. Ea se realizează cu ajutorul limitatoarelor de cursă care comandă, în momentul atingerii poziției respective de către organul mobil al mașinii, fie sistemul de avans, fie sistemul general de acționare.

Comanda în funcție de timp se adoptă atunci cînd se urmărește întîrzierea unei comenzi cu un anumit interval de timp.

Comanda în funcție de sarcină se utilizează în cazul în care forța realizată este un element important în operația la care se referă comanda.

În schemele electrice de acționare ale mașinilor agregate sau liniilor automate se prevăd uneori limitatoare de cursă care funcționează ca limitatoare de siguranță. Ele nu au funcții în cadrul ciclului de lucru, ci folosesc numai pentru întreruperea deplasării în cazul în care s-au depășit limitele extreme admise pentru organul mobil respectiv.

11.8.2.4. TIPURILE DE COMANDĂ PENTRU ACȚIONĂRILE HIDRAULICE

Deși în realitate comanda propriu-zisă a motorului hidraulic se face, cum este și firesc, cu ajutorul unor distribuitoare hidraulice, se consideră drept schemă de comandă doar acea parte a întregii scheme care va prelua informația, de la o comandă manuală sau de la un sistem portinformație și o va transmite ca atare, sau transformată, elementului hidraulic.

Principalele tipuri de comenzi sînt:

Comanda mecanică. Ea se poate realiza fie prin acționarea directă a distribuitoarelor cu ajutorul unor manete, fie prin acționarea lor cu ajutorul unor came și pîrghii, în care caz se poate realiza o automatizare a comenzilor.

Comanda hidraulică sau pneumatică. Automatizarea comenzii hidraulice sau pneumatice de la distanță (fig. 11.16) se folosește destul de puțin, și anume doar în cazul în care se impune o robustețe deosebită a sistemului de automatizare. În cazul de față se folosesc limitatoare de cursă hidraulice sau pneumatice *1* de tipul unui robinet sau sertar, care, acționate fiind de către organul mobil al unității de lucru *4*, dau un impuls hidraulic sau pneumatic și prin aceasta provoacă modificarea poziției distribuitorului principal *2*, adică trecerea la o altă fază a ciclului.

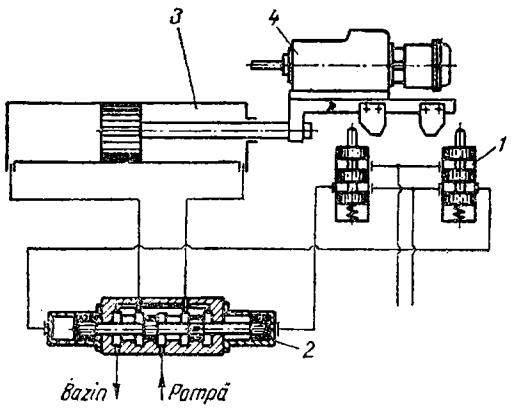


Fig. 11.16. Schema de automatizare a comenzilor hidraulice și pneumatice.

Comanda combinată. Se realizează în două moduri:

a. Prin folosirea paralelă a două sau mai multe tipuri de comenzi diferite, cum ar fi de exemplu cea din figura 11.17.

Comanda mecanică, de la maneta *1*, determină comutarea fazelor ciclului de lucru, iar limitatorul electric de cursă *2* asigură sincronizarea acestor faze cu funcționarea întregii mașini.

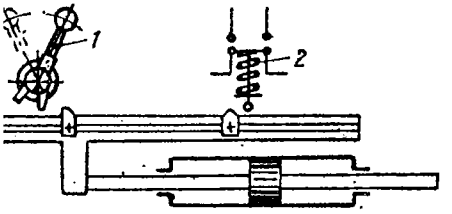


Fig. 11.17. Schema de comandă combinată în paralel.

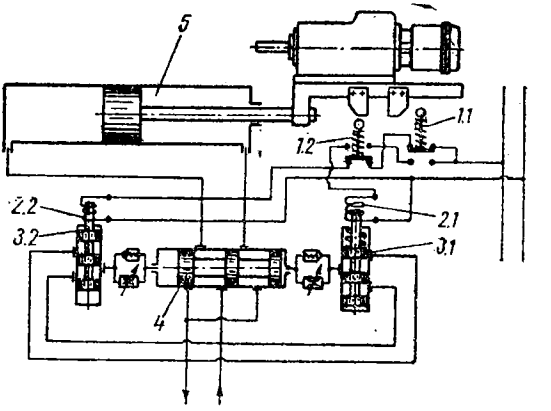


Fig. 11.18. Schema de comandă combinată în serie.

b. Prin folosirea serie a două feluri de comenzi, dintre care prima realizează semnalul de comandă propriu-zis iar a doua amplifică acest semnal. Un astfel de exemplu este redat în figura 11.18. Limitatoarele de cursă *1.1* sau *1.2* conectează în circuit unul din electromagneții *2.1* sau *2.2* acționîndu-se astfel distribuitorul pilot *3.1*, respectiv *3.2*. În continuare acestea vor comanda corespunzător sertarul principal *4* și deci motorul hidraulic *5*.

Comanda electrică. Un exemplu elementar al unei comenzi electrice a acționării hidraulice a unui cap de forță este redat în figura 11.19.

Unitatea de lucru deplasabilă *7*, pe care se găsesc montate camele *1*, acționează limitatoarele de cursă *2* cu care se închid respectiv se deschid circuitele de alimentare a electromagneților *4*. Aceștia vor deplasa sertarul *5* al distribuitorului principal într-un sens sau altul, admițînd astfel mediul de lucru de o parte sau cealaltă a pistonului cilindrului motorului hidraulic *6*. Reglarea poziției de comutare a fazei de lucru este foarte simplă și se realizează fie prin deplasarea camelor *1* pe linealul *3*, fie prin poziționarea limitatoarelor de cursă (microîntreruptoarelor) *2*. În special această poziționare a limitatoarelor de cursă este deosebit de simplă, în comparație cu cele hidraulice de exemplu, dată fiind flexibilitatea foarte pronunțată a conductoarelor electrice în comparație cu tuburile sau țevile pentru ulei.

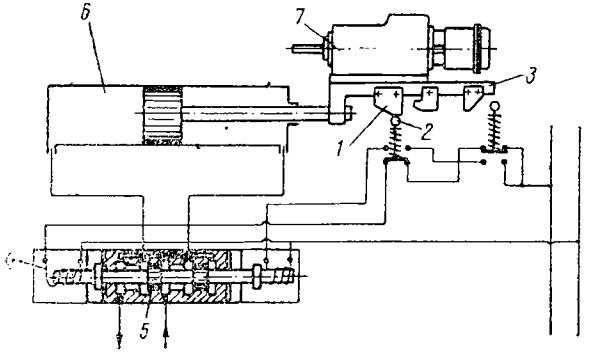


Fig. 11.19. Comanda electrică a unui cap de forță.

11.8.2.5. ACȚIONAREA DISTRIBUITOARELOR HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

Acționarea distribuitoarelor hidraulice poate fi făcută manual, hidraulic (pneumatic), electric, sau combinat manual-electric,

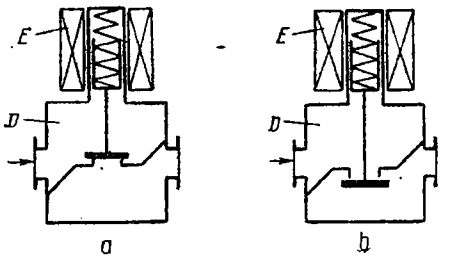


Fig. 11.20. Acționarea distribuitoarelor prin electromagneți:
a — închiderea circuitului; *b* — întreruperea circuitului.

hidraulic (pneumatic)-electric. Cele mai utilizate variante sînt cele electrice, manual-electrice și electrohidraulice. Ultimele sînt folosite în special în acționările la care se comandă cu un singur distribuitor, atît distribuția mediului de lucru cît și debitul lui.

În prezent aproape în majoritatea cazurilor se folosesc pentru acționarea distribuitoarelor electromagneți.

Aceștia pot fi de curent continuu sau alternativ, cu armătură deplasabilă (de translație sau de rotație) sau cu plunjer. Mai răspîndiți sînt cei cu plunjer cu alimentare în curent alternativ. Electromagnetul, ca element de acționare a distribuitorului, se compune din carcasa pe care se înfășoară bobina, miezul pentru concentrarea cîmpului magnetic și armătura mobilă de care este legat sertărașul distribuitorului. În funcție de felul curentului cu care se alimentează electromagnetul, miezul lui poate fi plin (curent continuu) sau din tole de tablă silicoasă (curent alternativ). În figura 11.20 se prezintă două cazuri mai des întîlnite de acționare cu electromagnet. În cazul *a* circuitul hidraulic se închide la alimentarea electromagnetului, iar în *b* se întrerupe. Cu ajutorul unui singur electromagnet și a resorturilor de revenire se pot acționa distribuitoare diferite, cum ar fi de exemplu cele din figura 11.21. Distribuitorul din figura 11.21, *a* este de fapt un robinet comandat de la distanță prin electromagnetul *E*. În cazul din figura 11.21, *b* este reprezentat un distribuitor cu trei căi însă cu două poziții, una din ele fiind asigurată de electromagnet iar revenirea de resort. În cazul din figura 11.21, *c* distribuitorul cu patru căi poate comanda un cilindru cu dublu efect (două căi), iar celelalte două sînt folosite pentru admisie și evacuare.

O variantă a acționării distribuitoarelor este cea combinată. Pentru distribuitoarele simple este curent folosită acționarea manuală și electrică (pentru comanda de la distanță), figura 11.22.

Acționarea electrohidraulică este în ultima vreme mult utilizată în cazul ciclurilor foarte complicate sau a celor conduse cu sisteme electronice. Expli-

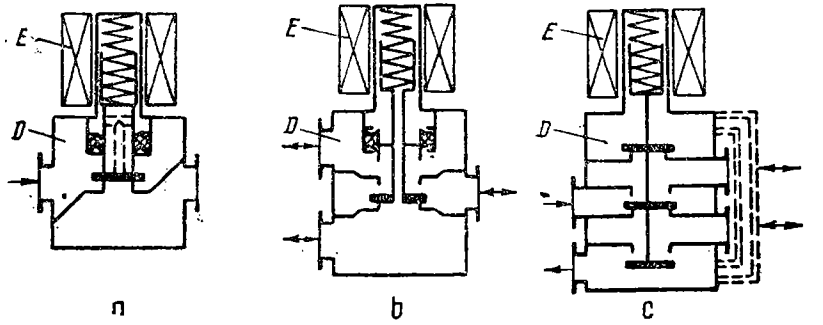


Fig. 11.21. Acționarea distribuitoarelor prin electromagneți și arcuri:
a — acționarea unui robinet; *b* — acționarea unui distribuitor cu trei căi; *c* — acționarea unui distribuitor cu patru căi.

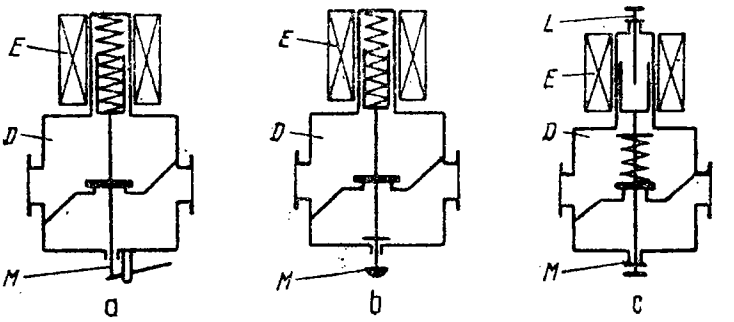


Fig. 11.22. Acționarea electromecanică a distribuitoarelor.

cația utilizării acționării combinate, în situația de față, constă în faptul că sistemele electrohidraulice (servoventile) necesită puteri de alimentare foarte mici, lucru care poate fi asigurat de circuite electronice relativ simple. În figura 11.23 sînt redate cîteva exemple constructive de astfel de electroventile. Electromagnetul *E* acționează un distribuitor-drosel *Dd* corespunzător circuitului de comandă. Acest distribuitor *Dd* va trimite uleiul în servomotorul hidraulic *Mh*, care acționează sertărașul distribuitorului propriu-zis *D*. În exemplul *a* servomotorul este de tip cu dublu efect; în exemplul *b* revenirea se face cu resort. Sisteme similare sînt reprezentate în *c*, respectiv *d* pentru cazul distribuitoarelor cu membrană. De regulă electromagnetul acestor tipuri de electroventile este de tip diferențial, ceea ce asigură o corespondență mai bună a poziției sertărașului de comandă față de fenomenul comandat. Puterea necesară pentru acționarea acestor servomotoare este foarte mică, de ordinul a 0,5. . .1 W față de 25. . .50 W necesari pentru acționarea electrică simplă a distribuitoarelor obișnuite.

11.8.2.6. PRINCIPII SPECIFICE PENTRU ÎNTOCMIREA SCHEMELOR INSTALAȚIILOR MAȘINILOR AGREGATE ȘI LINIILOR AUTOMATE

La mașinile la care scula este antrenată electromecanic iar avansul hidraulic sau pneumatic, schema se realizează astfel încît la pornirea motorului mișcării principale pornește și agregatul hidraulic. Pentru a evita încălzirea

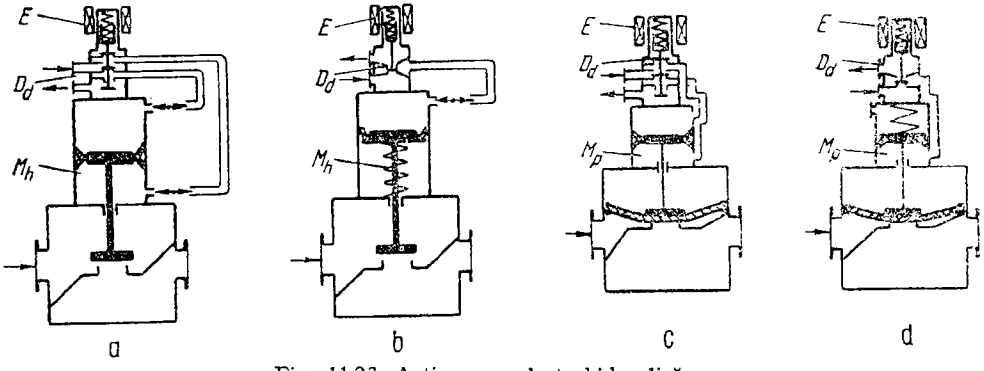


Fig. 11.23. Acționarea electrohidraulică.

exagerată a motorului principal, acesta nu se deconectează pe perioada pauzelor sau deplasărilor rapide de scurtă durată. Cele două circuite, principal și de avans, sînt protejate de regulă reciproc în vederea evitării distrugerii sculei, în special în cazul avariilor produse în lanțul sau circuitul mișcării principale.

Schemele instalațiilor electrice ale mașinilor agregate și cele ale liniilor automate se întocmesc astfel încît să poată funcționa, la alegere, atît în regim automat cît și cu comenzi manuale (pentru reglări). Însă, pentru a evita pericolul de accidentare, va trebui luată măsura de prevedere ca aceste două posibilități să fie interblocate.

La constituirea schemei electrice trebuie avută în vedere atît modalitatea semnalizării diferitelor stadii ale ciclului de lucru, cît și a avariilor care pot să apară. Semnalizările utilizate frecvent sînt cele optice, iar în unele cazuri și cele acustice.

Optic se semnalizează, de obicei, acele situații (stadii) ale ciclului de lucru care nu pot fi sesizate direct: repausul sau mișcarea de avans, punerea sub tensiune a panoului etc. Se semnalizează cu lumină verde pornirile și situațiile normale de funcționare, cu lumină galbenă avariile, cu lumină roșie regimurile anormale sau periculoase și opririle, iar cu lumină albă prezența tensiunii. Avariile (ruperea sculei, desprinderea piesei etc.) sînt semnalate și acustic. În acest scop sînt folosite sonerii sau hupe.

Pentru a se evita producerea de accidente, pornirea unei linii automate va fi întotdeauna precedată de o avertizare optică (girofar) și una acustică (hupă).

11.8.2.7. EXEMPLE DE SCHEME ELECTRICE DE ACȚIONARE ALE UNOR UNITĂȚI DE LUCRU

Pentru exemplificarea principiilor generale amintite în legătură cu proiectarea schemelor electrice de acționare și comandă pentru mașinile agregate și liniile automate, se prezintă simplificat în cele ce urmează schemele unor unități de lucru.

Cap de filetat cu deplasare rapidă realizată mecanic. Acționarea unității se face de către două motoare electrice. Motorul $M1$ își poate schimba sensul de rotație pentru asigurarea avansului și retragerii. Motorul $M2$ este destinat rotirii sculei într-un sens sau altul în vederea așchierii, respectiv retragerii acestuia. Operațiile de conectare, reversare și oprire se comandă cu cele patru contactoare $CD1$, $CS1$, respectiv $CD2$, $CS2$ și releul intermediar (memorizare) RM. În poziția de repaus a unității limitatorul LSO (fig. 11.24) este acționat de către o camă solidară cu sania, iar LFO de către o camă solidară cu broșa.

Prin acționarea butonului de comandă al releului de pornire RP, bobina acestuia este pusă sub tensiune. Contactul $1RP$ se închide și bobina contactorului $CD1$ este alimentată. Motorul $M1$ pornește, antrenînd masa, cu avans rapid, pînă la limitatorul LS 1. Contactul $1LS1$ se deschide (motorul $M1$ se oprește) și se închide contactul $2LS1$, conectînd prin aceasta contactorul $CD2$, acesta comandînd motorul $M2$.

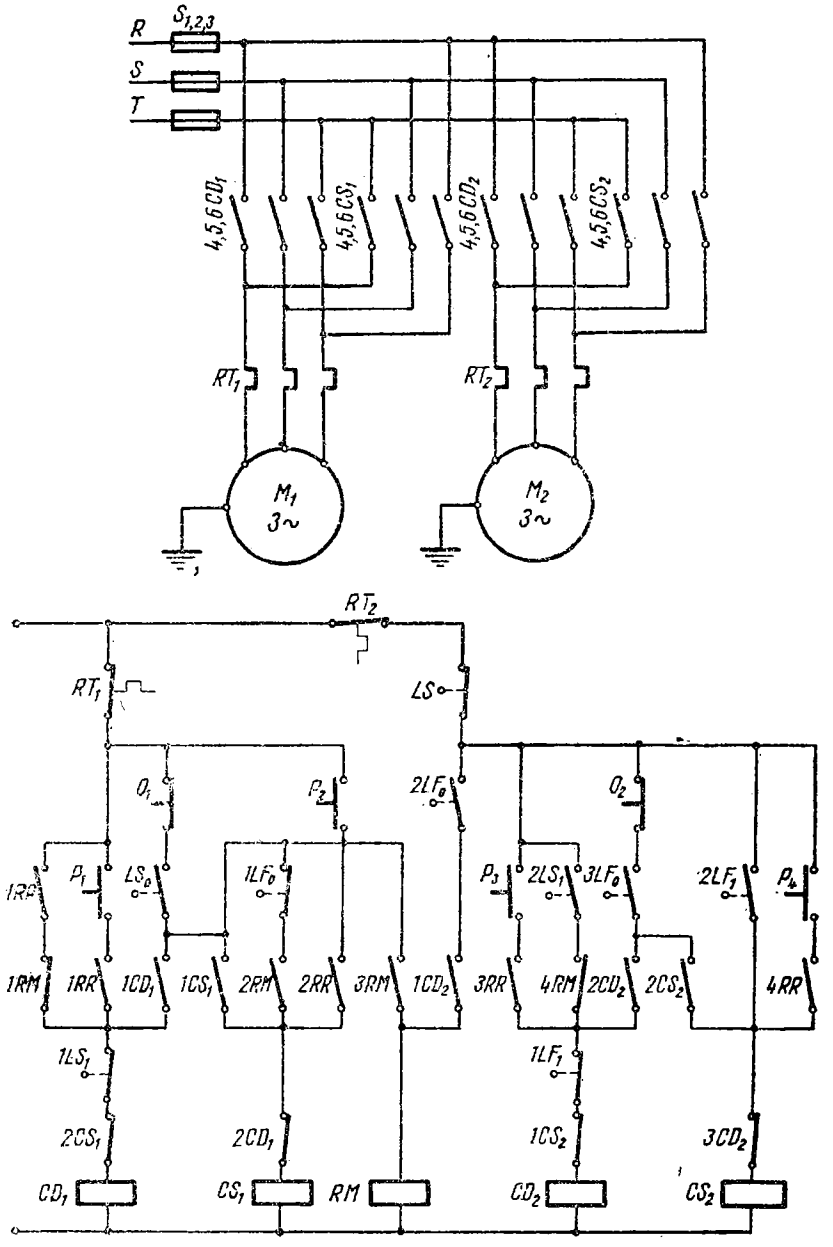


Fig. 11.24. Scheme de comandă și acționare a unui cap de filetat cu deplasare rapidă.

După ce scula a părăsit poziția de repaus se închide contactul 2*LFO* care conectează releul de memorie *RM*, contactul 1*CD*2 fiind deja închis. Cînd cursa de lucru s-a terminat se acționează limitatorul *LF*1. Contactul 1*LF*1 se deschide, contactorul *CD*2 pierzînd alimentarea, iar contactul 2*LF*1 se închide, contactorul *CS*2 fiind alimentat. În acest fel motorul *M*2, după ce mai întîi a fost deconectat, este alimentat pentru rotirea în sens invers. La atingerea poziției inițiale de repaus limitatorul *LFO* este acționat, contactul 3*LFO* se deschide, contactorul *CS*2 nu mai este alimentat și motorul *M*2 se oprește. În același moment se închide contactul 1*LFO* și, prin contactul 2*RM*, contactorul *CS*1 este conectat. Se realizează astfel retragerea rapidă a capului de lucru. Ajuns în poziția inițială, prin deschiderea contactului *LSO*, acesta comandă deconectarea contactorului *CS*1 și motorul *M*1 se oprește. Concomitent este deconectat și releul *RM*, releu care a fost menținut sub tensiune prin contactul său 3*RM*. În acest fel contactele 2*RM* și 3*RM* se deschid, iar 1*RM* și 4*RM* se închid.

Din schemă rezultă că releul *RM* este folosit pentru alimentarea contactorului *CS*1 (prin 1*LFO*) numai după ce scula a lucrat, releul fiind pus sub tensiune (prin 2*LFO*) la plecarea sculei cu avans de lucru.

Pentru reglare este folosit releul *RR*, bobina acestuia nemaifiind reprezentată. În regim de reglare releul *RR* este alimentat, astfel că toate cele patru contacte (1*RR* — 4*RR*) sînt închise, fapt ce permite efectuarea manuală a comenzilor. Releul de pornire *RP* este însă blocat. La reglare se pot realiza comenzile: avans rapid *P*1, retragere rapidă *P*2, rotire și avans tarod *P*3, retragere și rotire tarod *P*4. S-a prevăzut posibilitatea opririi rapide, în caz de avarie, atît a saniei cît și a mișcării principale (*O*1 și *O*2).

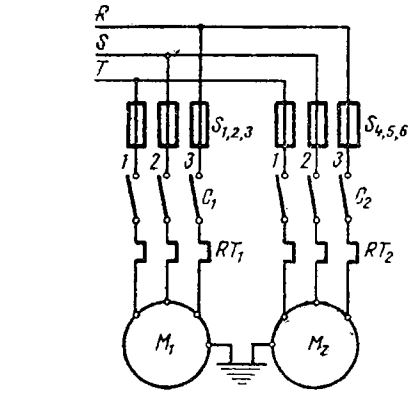
Cap de găurire cu avans hidraulic. Motorul *M*2 (fig. 11.25) antrenează scula în mișcare de rotație (un singur sens), avansul fiind asigurat hidraulic de către sanie. Comanda distribuitorului se face cu ajutorul electromagneților *E*1 și *E*2. Readucerea sertarului în poziția inițială fiind realizată cu resorturi, electromagneții vor fi alimentați pe toată durata fazei pe care aceștia o comandă. Agregatul este acționat de către motorul *M*1.

Prin acționarea butonului *P*1 contactorul *C*1 anclanșează și motorul *M*1 este pornit. Această situație este semnalizată de lampa *LS*1. Releul de pornire *RP* (a cărei bobină nu este figurată în schemă) dă comanda, prin contactele sale 1*RP*, 2*RP* și 3*RP*, începerea ciclului automat de lucru. Contactele 2*RP* și 3*RP* alimentează releele intermediare *R*1 și *R*2 care, prin electromagneții *E*1 și respectiv *E*2, comandă avansul rapid al saniei, deplasînd corespunzător sertărașele distribuitoarelor hidraulice.

Cînd sania pleacă din poziția inițială este eliberat limitatorul *LO* și se întrerupe alimentarea releului *R*3. Contactele 2*R*3 și 3*R*3 se deschid, dar alimentarea releelor *R*1 și *R*2 se menține prin contactele lor 2*R*1, respectiv 1*R*2 (automenținere).

Comanda lui *C*2 pentru conectarea motorului *M*2 este dată prin închiderea contactului 1*RP*. Aceasta se menține prin contactele 4*C*2 și 1*R*1. Cînd sania se deplasează, una din came va acționa limitatorul *L*1 care, deschizîndu-se, va întrerupe alimentarea releului *R*2 și implicit a electromagnetului *E*2. Pentru această situație se obține avansul tehnologic al saniei.

La terminarea prelucrării este acționat limitatorul *L*2. Prin deschiderea contactului 1*L*2 se întrerupe alimentarea releului *R*1, iar prin închiderea lui 2*L*2 se alimentează *R*2. Fiind conectat numai electromagnetul *E*2, se



Faza	Comandă			Execuție	
	L_0	L_1	L_2	E_1	E_2
Avans rapid				▦	▦
Avans tehnologic		▦		▦	
Retragere rapidă			▦		▦
Stop	▦				

L_0 AR L_1 AT L_2

RR

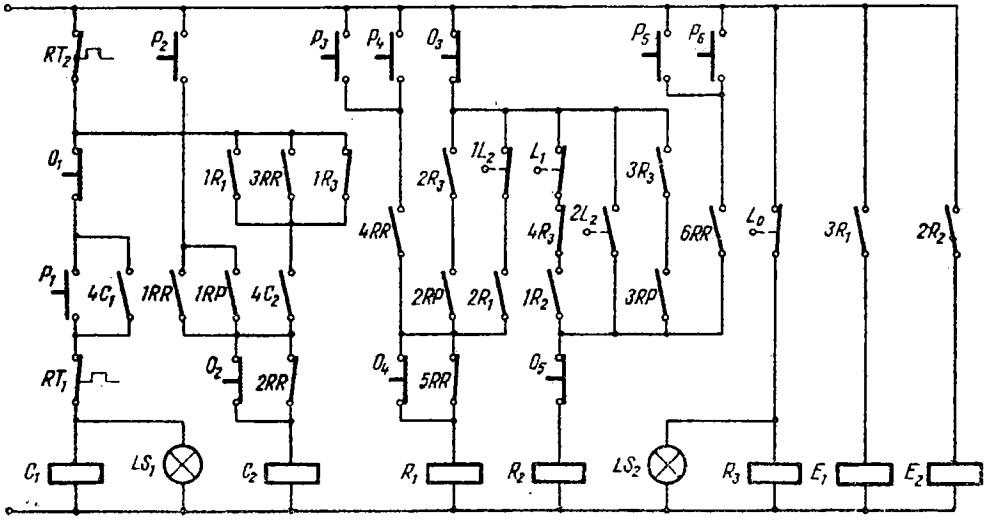


Fig. 11.25. Schema de comandă și acționare a unui cap de găurit cu avans hidraulic.

obține retragerea rapidă. Aceasta are loc pînă cînd este acționat limitatorul *LO* care cuplează pe *R*3 și decuplează pe *R*2. Rezultă că electromagnetul *E*2 este deconectat și, ca urmare, sania se oprește. Dar, în același timp, prin 1*R*3 este deconectat și *C*2 și astfel se oprește scula.

Pentru reglarea sculei se închid contactele 1*RR*, 3*RR*, 4*RR* și 6*RR* și se deschid contactele 2*RR* și 5*RR* (bobina releului intermediar *RR* nu s-a reprezentat). Pornirea motorului *M*2 se face, în acest caz, prin butonul *P*2, iar oprirea prin *O*2.

Pentru regimul de reglare se acționează asupra butoanelor *P*2, *P*3, *P*4, *P*5, *P*6, respectiv *O*2, *O*3, *O*4 sau *O*5. În acest mod diferitele faze pot fi comandate fără ca să fie necesară o anumită succesiune a comenzilor. Trebuie remarcat faptul că butoanele *O*2 și *O*4 sînt scurtcircuitate, în regim automat, prin contacte *NI* ale releului *RR*. Se evită astfel posibilitatea comenzii accidentale de oprire a sculei în timpul mișcării sale de avans. De asemenea, tot în vederea

protejării sistemului în cazul unei avarii în circuitul sau lanțul cinematic al mișcării principale, releul termic *RT*2, din circuitul motorului *M*2, decuplează și agregatul hidraulic.

Cap de forță pentru găurit cu dispozitiv multibroșă. În figura 11.26 este redat circuitul de forță al unui agregat de găurit multibroșă. În dreptul fiecărui motor s-a indicat funcția sa.

Schema electrică de comandă este redată în figura 11.27. Pentru a se ușura citirea acestei scheme s-au trecut și funcțiile fiecărui circuit.

Ciclograma este dată în figura 11.28, *a*, iar poziția relativă a celor trei limitatoare este indicată în figura 11.28, *b*. Cama limitatorului *b*12 este rabatabilă și nu acționează limitatorul în cazul retragerii capului de găurit.

Diagrama de comandă din figura 11.29 conține și elementele de execuție (electroventile *s*1 — *s*4). Cu ajutorul ei se poate ușor explica, folosindu-se și ciclograma, funcționarea agregatului. Se menționează faptul că diagrama de comandă din figura 11.29 se poate face și pentru cazul cînd pe axa ordonatelor sînt trecute mișcările capului de găurit și nu aparatele, așa cum a fost prezentată.

Cap de forță pentru găurire adîncă, cu deplasare mecanică. Schema de comandă a unui cap de găurit cu un ciclu mai complex este prezentată în figura 11.30. În poziția *retras* a capului de forță cama *CL*2 nu acționează asupra nici unuia din limitatoarele de cursă *LO*, *L*1, *L*2, *L*3. Pe măsură ce cama solidară cu capul de forță, *CL*1, va înainta, prin pîrghia *P* va acționa cama *CL*2, care acționează pe rînd limitatoarele *LO*, *L*1, *L*2, *L*3. Funcționarea poate fi urmărită relativ ușor pe schema de comandă, în care găsim următoarele circuite:

1 — comandă manuală în vederea reglării;

2 — conectarea circuitului sub tensiune;

3 — circuitul de pornire a ciclului;

4 — conectarea motorului mișcării de avans tehnologic și a lichidului de răcire (*M*1 și *M*2);

5 — conectarea spre dreapta sau spre stînga a motorului de deplasare rapidă *M*3;

6 — conectarea motorului mișcării principale;

7 — circuitul releului de temporizare cu care se temporizează durata adîncimii treptate de lucru;

8 — releul de mecanizare a comenzii releului de timp;

9 — releul pentru impuls de comandă.

Schema permite lucrul în regim neautomat (*K*2 și *K*3 închise) cînd se poate face o reglare prin comenzi manuale (butoanele *P*2, *P*21, *P*22, *P*3, *P*4, *O*3), sau automat, cînd *K*1 și *K*2 sînt deschise.

Schema de comandă a unei unități de strunjire radială. Avansul longitudinal este realizat și în cadrul acestei scheme tot hidraulic. Ciclul prevăzut pentru această unitate este: apropierea rapidă, avans de poziționare precisă, avans radial, retragere rapidă, deplasare de revenire în poziția de zero. Acest lucru este realizat cu patru distribuitoare acționate cu cîte un electromagnet

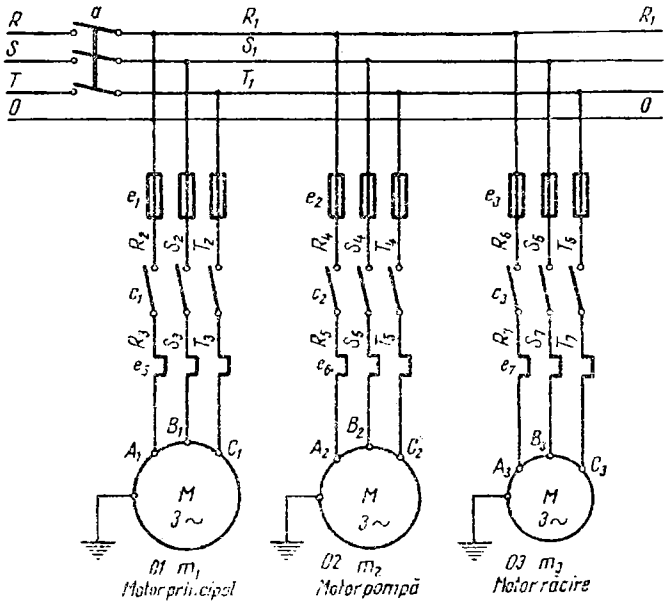


Fig. 11.26. Circuitul de forță al unui agregat multibroșă.

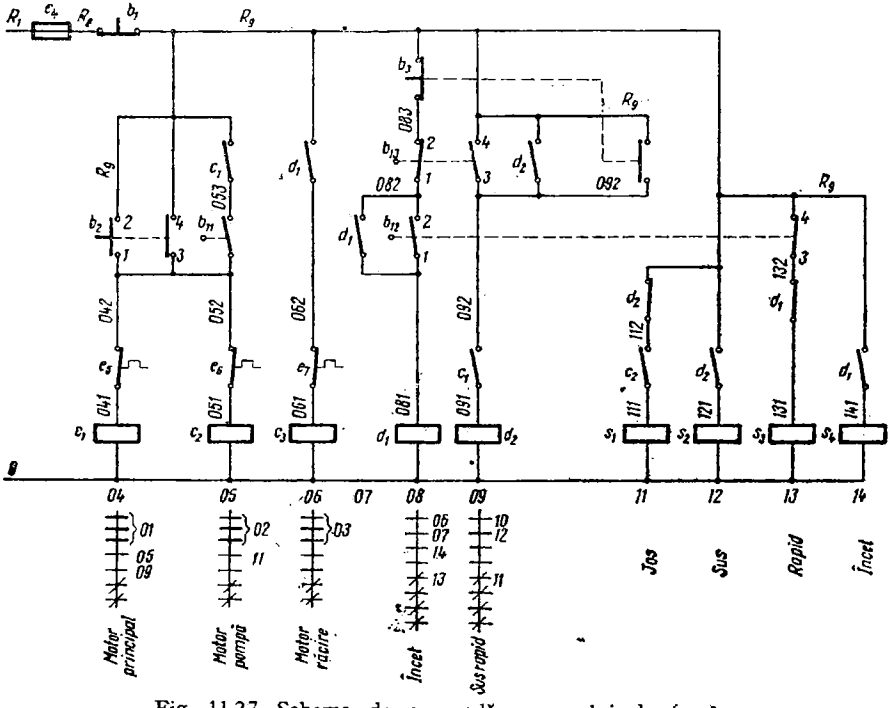


Fig. 11.27. Schema de comandă a capului de forță.

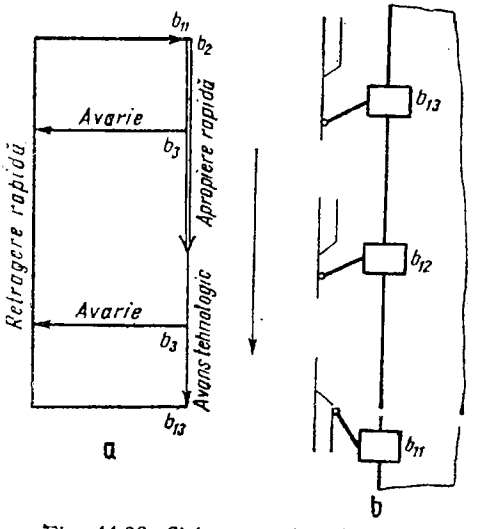


Fig. 11.28. Ciclograma și poziția relativă a limitatoarelor:

a — ciclograme; *b* — poziția relativă a limitatoarelor.

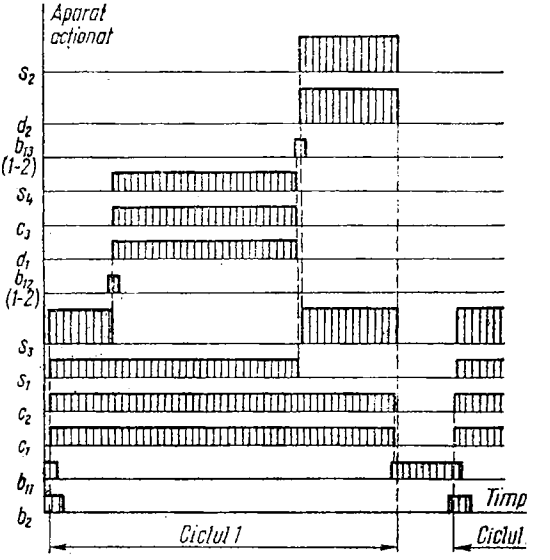


Fig. 11.29. Diagrama de comandă.

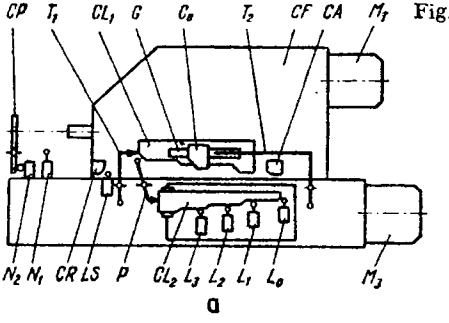
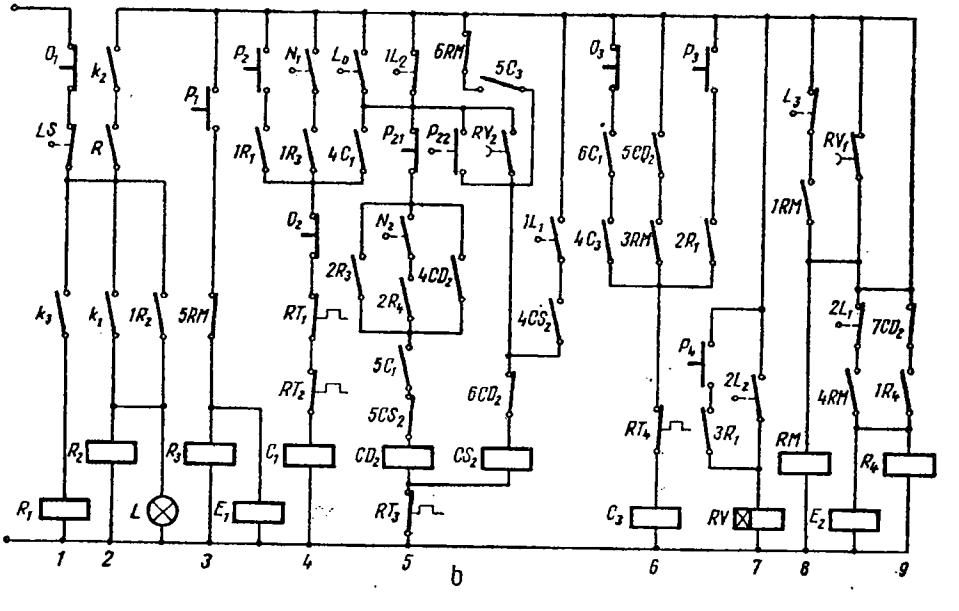


Fig. 11.30. Schema de comandă a unui cap pentru găurirea adîncă.



($E1$, $E2$, $E3$, $E4$, fig. 11.31). Din combinația conectării electromagneților rezultă elementele ciclului prezentat mai sus:

$E1 + E2$ = apropiere rapidă;
$E1$ = poziționare precisă;
$E1 + E3 + E4$ = avans radial;
$E2$ = retragere rapidă;
$E2 + E4$ = revenire în poziția zero (retragere sculă).

Prin deconectarea tuturor electromagneților se atinge starea de repaus. Elementele de circuit din schema 11.31 sînt:

— pornirea agregatului hidraulic (contactorul $C2$);

— pornirea motorului mișcării principale (contactorul $C3$);

— circuitele de conectare a electromagneților (releele intermediare $R1$, $R2$, $R3$, $R4$);

— circuitele de alimentare ale electromagneților distribuitoarelor hidraulice.

Prin intermediul unui releu de pornire (exterior schemei) se conectează releele $R2$ și $R3$ care alimentează prin contactele lor ($1R2$ și $1R3$) electromagneții $E1$ și $E2$. Sania pornește astfel cu avans rapid. În continuare, folosindu-se limitatoare de cursă (de tip microîntreruptoare) și releul $R4$ în combinație cu $R2$ și $R3$, se comută diferitele direcții și viteze de avans conform cu schema ciclului de mai sus. În schema din figura 11.31 se vede că pentru ca să se poată da comanda de pornire trebuie ca sania să se găsească în poziția inițială, adică contactul limitatorului de cursă LO închis. Prin aceasta releul intermediar $R1$ este conectat și contactele sale $1R1$, $2R1$ și $3R1$ sînt închise, iar $4R1$ deschise.

Și în cazul acestei scheme s-a prevăzut posibilitatea de comandă manuală cu butoanele $P1$, $P2$, $P3$, $P4$ după conectarea releului de reglaj RR (neprezentat în schemă). Pentru oprirea rapidă în orice poziție s-ar afla unitatea de lucru s-au prevăzut butoanele cu contacte normal închise $O1$, $O2$, $O3$.

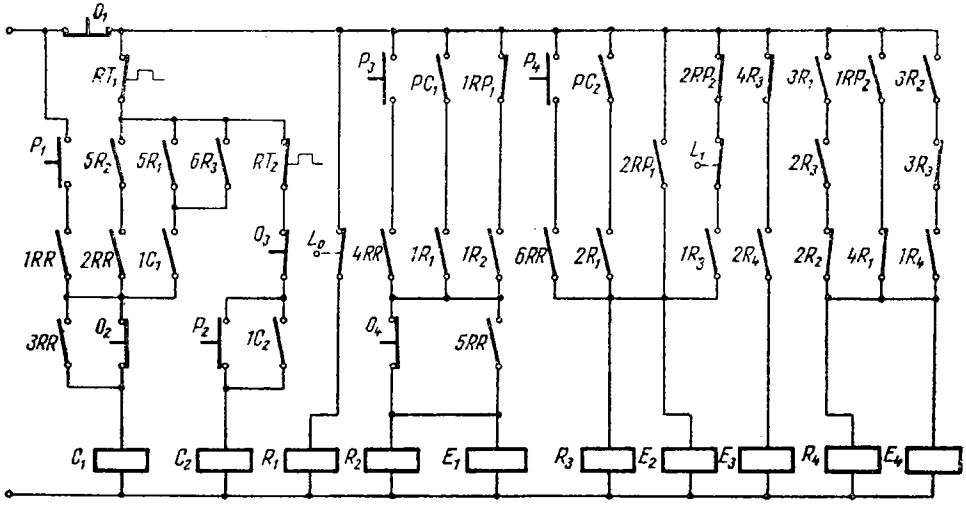


Fig. 11.31. Schema de comandă a unei unități de strunjire radială.

11.9. MAȘINI PENTRU PROCEDEE NOI DE PRELUCRARE

Prelucrările speciale au apărut și s-au dezvoltat în paralel cu elaborarea noilor materiale de construcție și de scule, materiale de mare rezistență și duritate. O serie de materiale casante, dar cu o duritate extrem de ridicată, cum ar fi sticla, cuarțul, materialele ceramice și cele sinterizante, diamantul, se prelucrează în prezent cu unele din aceste noi metode.

Dacă facem referire doar la metodele de prelucrare care folosesc energia electrică, acestea pot fi de două feluri, și anume:

— metode electrice (folosesc energia electrică în mod direct, în spațiul de lucru);

— metode speciale (folosesc energia electrică în mod mijlocit).

11.9.1. MAȘINI PENTRU PRELUCRĂRI PRIN ELECTROEROZIUNE

La baza prelucrării cu scîntei electrice stă fenomenul de eroziune a metalului ca urmare a descărcării electrice. Între cei doi electrozi, anodul (piesa) și catodul (scula), se găsește dielectricul (aer sau lichid) în stare ionizată.

Undeva în spațiul dintre cei doi electrozi, deci în materialul dielectric, se creează condițiile necesare conducerii curentului electric, al descărcării, adică se formează așa numitul *canal al scînteii*. Descărcarea fiind localizată într-un spațiu extrem de restrîns, temperatura dezvoltată la capetele canalului atinge valori foarte mari, de 8 000...10 000°C. Desigur că materialul aflat în imediata vecinătate se va topi și chiar volatiliza. Întîlnind însă dielectricul, acesta se condensează instantaneu și se solidifică sub forma unor picături sferice. În locul descărcării apare un crater caracteristic, a cărui mărime depinde de energia descărcării, de durata ei și de forma impulsului de curent. Pentru ca volumul de material îndepărtat de o descărcare să fie mare este necesar ca valoarea curentului să fie mare. Acest lucru se obține prin utilizarea unor surse de puteri mari și concentrarea energiei în impulsuri de durată cît mai mică. De aici rezultă concluzia că este necesar ca procesul de descărcare să nu fie continuu, sub formă de arc, ci discontinuu, sub formă de impulsuri. După modul în care se obțin impulsurile repetate se cunosc generatoare dependente (de relaxare) și independente.

11.9.1.1. GENERATOARE DEPENDENTE (DE RELAXARE)

Cel mai simplu generator dependent este reprezentat în figura 11.32. Acesta cuprinde două părți distincte, și anume:

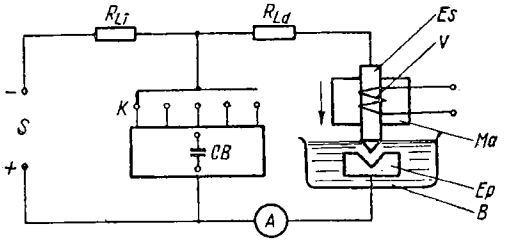


Fig. 11.32. Schema electrică a unui generator de impulsuri dependent (de relaxare).

— partea de încărcare cuprinzînd sursa S, rezistorul de limitare a curentului de încărcare $RLî$ și bateria de condensatoare CB;

— circuitul de descărcare cuprinzînd bateria de condensatoare CB (devenită acum sursă de energie), rezistorul (sau rezistoarele) de limitare a curentului de descărcare RLd și cei doi electrozi, scula Es și piesa Ep.

Prelucrarea cu impulsuri se deosebește de prelucrarea cu scîntei în primul rînd prin modul de generare a impulsurilor. În cazul de față impulsurile sînt obținute de la un generator de impulsuri de formă dreptunghiulară, iar acestea sînt amplificate în putere și transmise celor doi electrozi. Astfel de generatoare sînt denumite *generatoare independente* și se realizează în mod curent în două variante: generatoare electronice cu tranzistoare sau cu tiristoare. Schema bloc a unei instalații de prelucrare cu impulsuri este redată în figura 11.33.

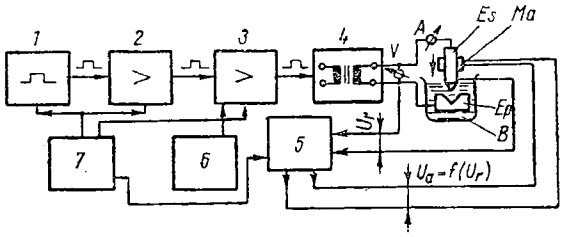


Fig. 11.33. Schema bloc a unei instalații de prelucrare cu impulsuri.

Generatorul *1* de impulsuri dreptunghiulare (un multivibrator) transmite impulsurile de durată și frecvență de repetiție variabilă (reglabilă) unui amplificator în tensiune *2* și mai departe etajului de putere *3*. De aici, fie direct, fie prin transformatorul *4*, impulsurile sînt trimise celor doi electrozi. Mecanismul de avans este comandat de amplificatorul *5*, care corelează viteza de avans și implicit interstițiul de lucru cu tensiunea dintre electrozi. Blocurile *6* și *7* sînt blocuri de alimentare cu tensiune anodică.

11.9.1.2. GENERATOARE INDEPENDENTE ALE UNOR MAȘINI UTILIZATE ÎN PRODUCȚIE

Dintre mașinile electroerozive folosite în țara noastră, cele mai cunoscute sînt de fabricație elvețiană (Charmilles și AGIE), cehă (VJK), sovietică (4A721 și 473), maghiară (Erosimat U) și românească.

Mașina de electroeroziune VJK (R.S.C.). Schema acestui generator este redată în figura 11.34. Redresorul cu mercur este de tip hexafazat și alimentează o baterie de condensatoare reglabilă. Interesant este sistemul de comandă al avansului (fig. 11.35). Acesta este realizat sub forma unui sistem diferențial cu două tuburi electronice în montaj identic. Echilibrarea în gol a celor două etaje se face cu ajutorul potențiometrului *R*5. Tensiunile de comandă ale celor două tuburi sînt tensiunea din spațiul de lucru (partea stîngă) și tensiunea debitată de transformatorul de intensitate *Tr*4 (partea dreaptă). Cu ajutorul divizorului de tensiune *R*1—*R*2 și a potențiometrului *R*12 se alege turația normală a motorului *M* corespunzătoare regimului dat. Sarcina anodică a celor două tuburi este înfășurarea de comandă a amplificatorului magnetic *AM*1, respectiv *AM*2.

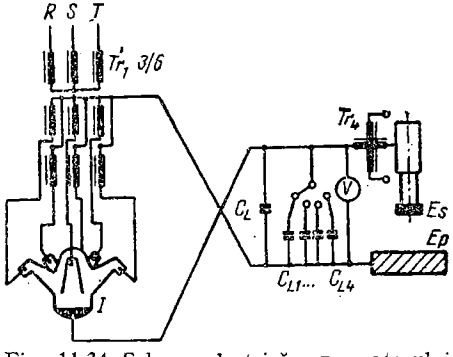


Fig. 11.34. Schema electrică a generatorului de impulsuri folosite la mașina VIK (R.S.C.).

Cele două situații anormale posibile sînt:

● Distanța dintre electrod și sculă este prea mare, deci tensiunea dintre

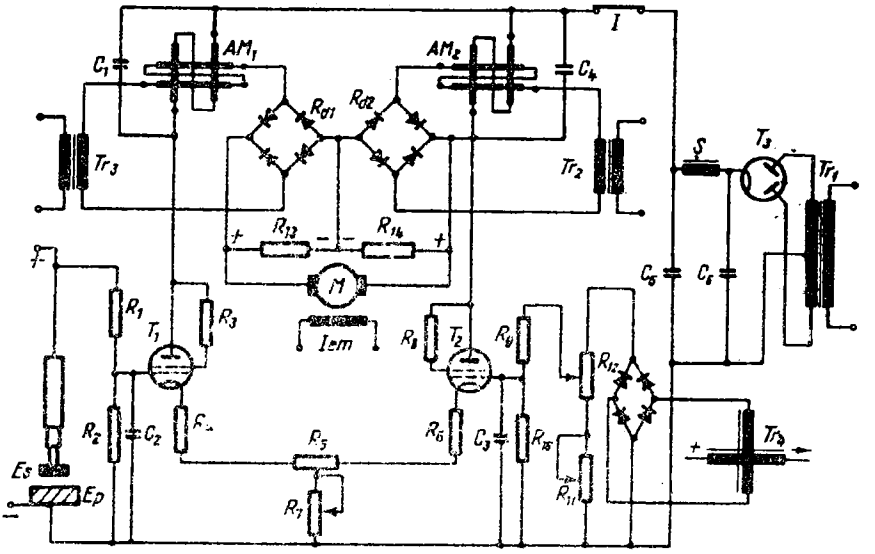


Fig. 11.35. Schema pentru comanda avansului la mașina V.J.K.

aceștia crește, iar intensitatea scade. În acest caz amplificatorul magnetic *AM*1 va admite un curent mai mare și motorul se va accelera (sau se va roti înainte).

● Distanța prea mică între electrozi, eventual scurtcircuit, deci intensitatea crește, iar tensiunea scade (situația s-a inversat). În acest caz motorul va primi o tensiune mai mică sau chiar de polaritate inversă și se va corecta situația anormală.

Mașina de electroeroziune 473 (U.R.S.S.). Mașina de fabricație sovietică tip 473 este echipată cu un generator de impulsuri independent de tip rotativ. Principalele caracteristici sînt:

— tensiunea: 26,5 V;
— intensitatea: 160 A;
— frecvența impulsurilor: 600 Hz.

Mașina poate lucra cu ciclu automat sau manual. Schema bloc este redată în figura 11.36. Generatorul rotativ *1*, antrenat de motorul asincron *2*, transmite impulsurile generate celor doi electrozi *4* și *5*. Variațiile de tensiune dintre cei doi electrozi sînt sesizate de circuitul *7* și transmise amplificatorului magnetic *8*. La fel ca și în cazul mașinii VJK, semnalul reacției de tensiune dat de blocul *7* se compune cu semnalul reacției de intensitate (blocul *6*) pentru a putea sesiza cele două cazuri extreme amintite. Circuitele *11* și *12* sînt reacțiile de curent, respectiv de tensiune, ale semnalului de ieșire din blocul *8*. Suma celor patru semnale, aplicată amplificatorului magnetic *8*, este amplificată corespunzător, redresată de redresorul *9* și aplicată motorului *10* care antrenează capul portsculă.

Generatorul de impulsuri, după cum s-a arătat, este de tip rotativ și este antrenat de către un motor asincron trifazat cu turația de 3 000 rot/min, avînd o putere de 14 kW. Circuitul de descărcare cuprinde trei rezistoare fixe, cu care se reglează în patru trepte curentul mediu, și un reostat cu care se execută reglajul fin.

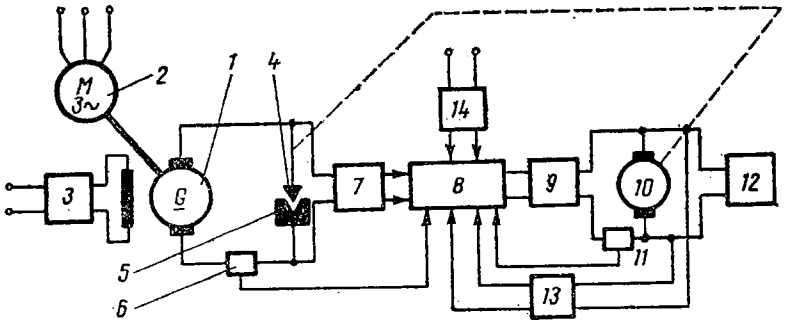


Fig. 11.36. Schema bloc a mașinii de prelucrat prin electroeroziune 473 (U.R.S.S.).

Mașini de electroeroziune realizate în Universitatea Brașov. La Catedra de Mașini-unelte din Brașov s-au realizat pînă în prezent cîteva variante de generatoare de impulsuri utilizate în diverse mașini electroerozive. În figura 11.37 este prezentată prima mașină de acest gen realizată în anul 1967 și echipată cu un generator cu tuburi electronice. Pe batiul *1*, în care se află

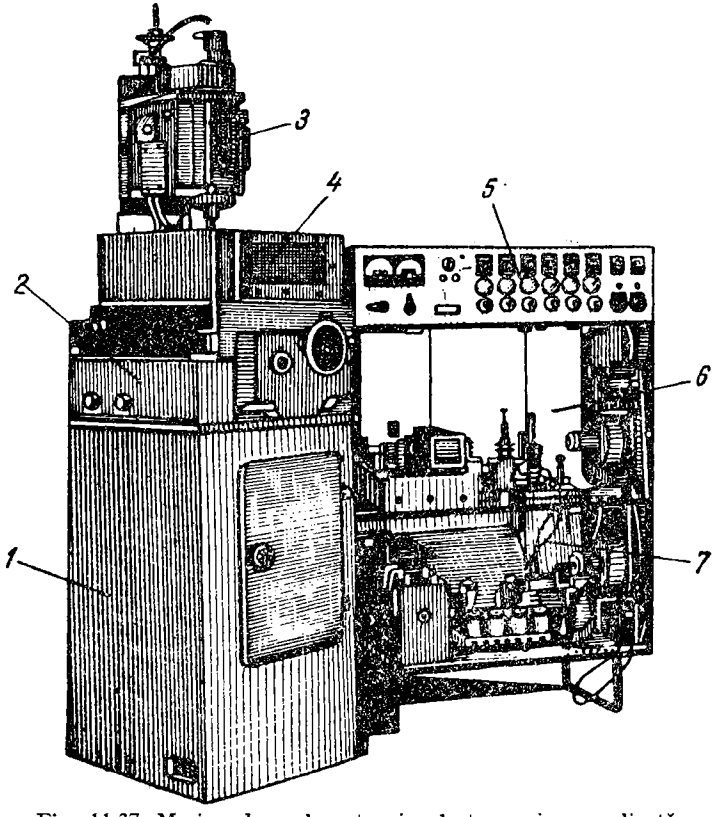


Fig. 11.37. Mașina de prelucrat prin electroeroziune realizată de Universitatea din Brașov.

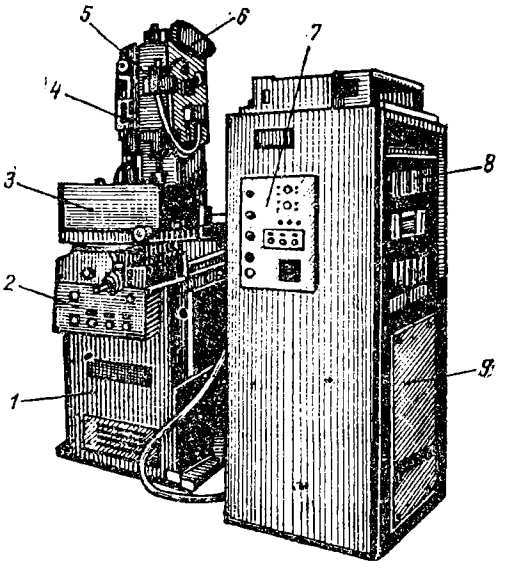


Fig. 11.38. Mașina cu generator tranzistorizat realizată de Universitatea din Brașov.

rezervorul de dielectric cu pompa și sistemul de filtrare, se găsește masa *2* cu săniile care asigură deplasări după două direcții. Cuva de lucru *4* permite prelucrarea unor piese de maximum $400 \times 500 \times 150$ mm. Pe coloana mașinii este amplasat mecanismul electromecanic de avans *3*. Generatorul de impulsuri este amplasat într-un dulap separat, în care se găsesc blocurile de comandă electrice și electronice *5*, blocurile finale și prefinale *6* și toate blocurile redresoare *7*. Puterea instalată pe mașină este de 2,5 kVA de la rețeaua de 220 V.

O altă variantă realizată în catedră este prevăzută cu un generator tranzistorizat. Vederea generală a mașinii este prezentată în figura 11.38. Batiul *1* cuprinde rezervorul de dielectric, pompa, bateria de filtre și panoul hidraulic. Pe batiu este amplasat un panou de comandă auxiliar *2* pentru mișcările de poziționare și pornire a generatorului, comenzi care pot fi efectuate și de la panoul *7*. Cuva de lucru permite imersarea unor piese de $400 \times 500 \times 200$ mm. Poziționarea capului de lucru se face cu un mecanism electromecanic *6* iar avansul autoreglabil *4* este realizat hidraulic, fiind comandat de electroventilul *5*. Generatorul de impulsuri este amplasat împreună cu toate celelalte blocuri electrice și electronice într-un dulap separat. Se văd blocurile finale și prefinale *8* amplasate deasupra blocurilor de forță *9*. Mașina se racordează la rețeaua trifazică și are o putere instalată de 5,0 kVA. Deși puterea absorbită este doar de două ori mai mare față de varianta precedentă, productivitatea mașinii este de aproximativ 20 de ori mai mare dat fiind randamentul mult îmbunătățit și în special ca urmare a avansului autoreglabil și a parametrilor electrotehnologici mult îmbunătățiți.

În figura 11.39 se prezintă schema bloc a generatorului de impulsuri pentru mașina din figura 11.38. Oscilatorul pilot *GIO*1, reglat separat pentru t_i și t_p de la blocurile *GIO*11 și *GIO*12, comandă blocul de adaptare a impedanțelor *GIO*2. Semnalul de ieșire de la *GIO*2 este aplicat celor două blocuri amplificatoare prefinale *GIO*3, care îl amplifică în putere pînă la puterea de excitație absorbită de etajele finale *GIO*41. . .*GIO*48. Ieșirile lor, legate în paralel, se aplică prin rezistoarele *Rn* la borna + a ieșirii generatorului de impulsuri. Prin intermediul contactoarelor *Kn* se pot alege șase regimuri de curent.

Comanda automată a avansului se realizează cu două blocuri amplificatoare *AaO*1 și *AaO*2. Tensiunea dintre cei doi electrozi, dependentă de modul în care decurg descărcările în interstițiul de lucru, este integrată și aplicată comparatorului *CaO*1 în care se compară cu un semnal etalon prereglat cu *CaO*2. În funcție de raportul în care se găsesc cele două semnale, ampli-

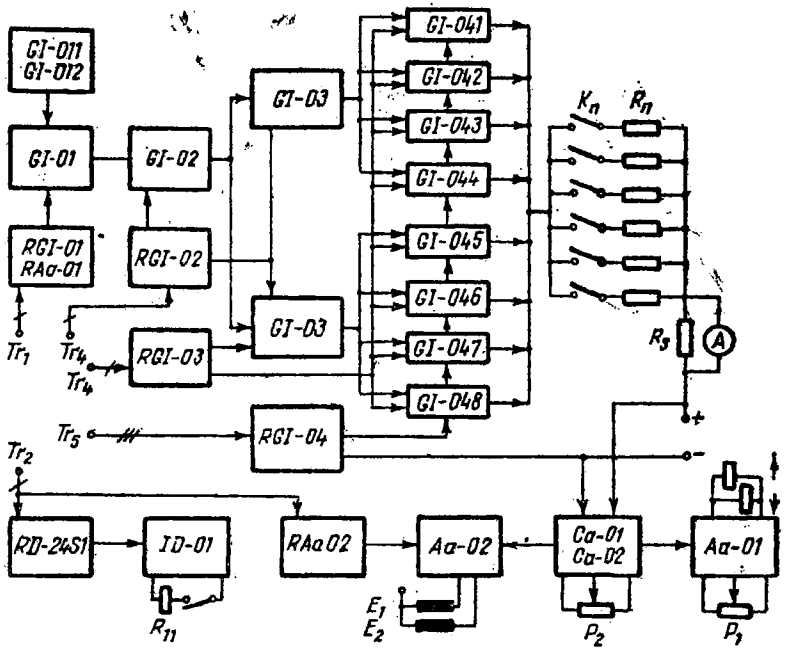


Fig. 11.39. Schema bloc a generatorului de impulsuri de la mașina realizată de Universitatea din Brașov.

ficatorul *AaO1* va comanda deplasarea de apropiere sau retragere rapidă, iar amplificatorul diferențial *AaO2* va adapta viteza de avans tehnologic la viteza de prelucrare. În schema bloc sînt reprezentate și circuitele de alimentare separat pentru diferitele blocuri, adică redresoarele care asigură tensiuni continue stabilizate (*RGIO1*, *RAaO1*) sau nestabilizate (*RGIO2*, *03*, *04*, *RD24* și *RAaO2*).

11.9.2. MAȘINI PENTRU PRELUCRAREA ELECTROCHIMICĂ

Prelucrarea electrochimică a metalelor, numită de unii autori și *prelucrare anodică*, *prelucrare electrolitică sau electropolizare*, constă în îndepărtarea materialului prin dizolvare anodică.

Prelucrarea are la bază legea lui Faraday

$$m = k \cdot Q = k \cdot I \cdot t,$$

în care: m este masa metalului dislocat pe cale electrolitică, în kg;

Q — cantitatea de electricitate, în C;
k — echivalentul electrochimic al metalului respectiv, în kg/C;
I — intensitatea curentului electric, în A;
t — timpul cît durează trecerea curentului, în s.

Mașini pentru polizarea electrolitică. Prelucrarea fină electrolitică constă în dizolvarea metalului din anod la trecerea curentului prin cei doi electrozi și electrolit.

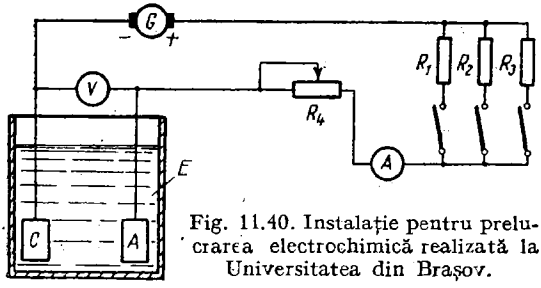


Fig. 11.40. Instalație pentru prelucrarea electrochimică realizată la Universitatea din Brașov.

În figura 11.40 este prezentată schema unei instalații realizată la Catedra de Mașini-Unelte a Universității din Brașov. Curentul electric necesar prelucrării este dat de o sursă de tensiune continuă, G. Intensitatea curentului se schimbă în trepte prin intermediul rezistoarelor $R1$, $R2$, $R3$ și fin prin rezistența $R4$. Tensiunea de lucru variază în jurul a 6 V, iar densitățile de curent între 0,2 și 0,4 A/cm². Electrolitul are la bază acidul ortofosforic (87%) cu adaos de acid sulfuric (2%) și trioxid de crom (6%) și a fost încălzit în timpul prelucrării la 80... 90°C. Regimul electric se controlează cu voltmetrul V și ampermetrul A. Instalația a fost utilizată la lustruirea electrolitică a bilelor și inelelor de rulmenți, obținîndu-se o rugozitate a suprafeței egală cu 0,012 μm (Ra).

Mașini pentru prelucrarea electrochimică volumică. Prelucrarea electrochimică volumică diferă de polizarea electrolitică doar prin regimul electric, și anume prin valoarea densității de curent care în acest caz atinge 100...150 A/cm². Caracteristic realizării practice a prelucrării este forma sculei și anume ea trebuie să aibă forma negativului piesei. Pentru ca acest procedeu să devină economic este necesar ca viteza de îndepărtare a metalului să fie de cel puțin 200...500 de ori mai mare decît la polizare. Densitatea mare de curent se poate atinge pe calea circulației forțate a electrolitului printre electrozi.

Schema de principiu a unei instalații de prelucrare electrolitică este redată în figura 11.41. Piesa de prelucrat, în cazul de față paleta unei turbine, este legată la borna pozitivă a sursei, iar cei doi catozi de formă corespunzătoare la borna negativă. Între electrozi se aduce electrolitul sub presiune, astfel încît în spațiul extrem de mic format să se creeze o viteză de cel puțin 30 m/s.

Prelucrarea electrochimică, inițiată în anul 1960 în Franța cu instalația Sifko, se poate aplica la cele mai diferite genuri de operații: găuriri, decupări, profilări. Domeniul cel mai indicat este construcția matrițelor sau prelucrarea din brut a pieselor de configurație complexă confecționate din materiale dure.

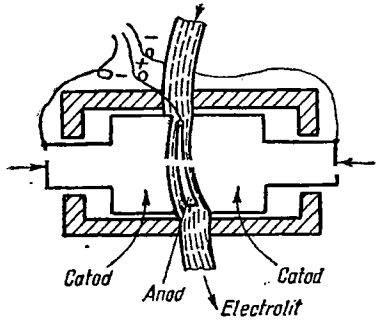


Fig. 11.41. Instalație pentru prelucrarea electrochimică volumică.

11.9.3. MAȘINI PENTRU PRELUCRAREA ANODOMECANICĂ

Prelucrarea anodomecanică se bazează pe efectele a două fenomene, și anume cel al eroziunii electrice și cel al dizolvării anodice.

Primul fenomen are loc în situația în care între două puncte apropiate ale sculei

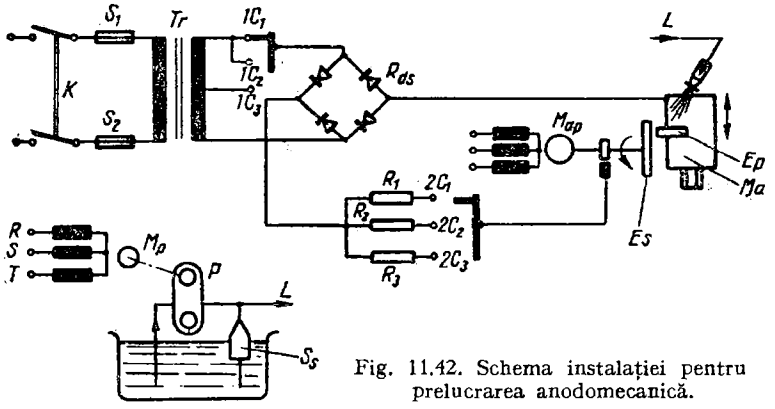


Fig. 11.42. Schema instalației pentru prelucrarea anodomecanică.

și piesei se aplică o tensiune suficientă pentru ca să aibă loc o descărcare electrică. Pentru a realiza concentrarea energiei în cît mai puține descărcări, suprafețele active ale piesei și sculei (în mișcare de rotație) sînt izolate. Dezizolarea și deci pregătirea locului unde va avea loc descărcarea sa realizează prin mișcarea relativă dintre cei doi electrozi (*Es* și *Ep*, fig. 11.42) și anume doar de pe vîrful microneregularităților.

Cel de-al doilea efect apare la tensiuni scăzute; cantitatea de material prelevat este foarte redusă, dar se caracterizează printr-o înaltă calitate a suprafeței. Astfel, prin reglarea tensiunii se poate modifică raportul dintre prelevarea erozivă și de dizolvare, deci productivitatea și calitatea suprafeței. Prin modificarea intensității se reglează în primul rînd productivitatea și într-o oarecare măsură calitatea suprafeței. Materialul rezultat din prelucrare este preluat de lichidul de lucru *L* și îndepărtat. Deci lichidul de lucru va îndeplini trei cerințe: să posede calități de electrolit, să fie un izolant și, în fine, să transporte materialul prelevat. Cel mai utilizat lichid de lucru este silicatul de sodiu, care asigură toate condițiile impuse mai sus.

Schema electrică a mașinii anodomecanice 4352 este relativ simplă. Circuitul de lucru cuprinde un transformator coborîtor de tensiune *Tr* conectat la rețea prin întreruptorul pachet *K* și siguranțele fuzibile *S*1 și *S*2, transformator care prin secundarul cu două tensiuni (24 și 20 V) alimentează redresorul punte *Rds* cu coloane cu seleniu. Pentru asigurarea celor trei regimuri, eboșare, semifinisare și finisare, se comută tensiunile și rezistoarele *R*1 *R*2, *R*3 prin contactoarele *C*1, *C*2, *C*3. În fine, redresorul este legat cu borna negativă la masa portpiesă și cu borna pozitivă la sculă (printr-un inel colector). Scula este antrenată direct de un motor asincron, al cărui sens de rotație se schimbă cu două contactoare, stînga-dreapta. În sistemul de acționare al mașinii mai sînt prevăzute două motoare: unul pentru antrenarea pompei de lichid cu roți dințate *Mp*, iar al doilea pentru antrenarea mesei portpiesă *Ma*.

11.9.4. MAȘINI PENTRU PRELUCRAREA CU ULTRASUNETE

Fizica procesului de prelucrare prin ultrasunete nu este încă complet elucidată. Se presupune că prelucrarea materialului se realizează ca urmare a acțiunii distructive a cavitației, care ia naștere în suspensia abrazivă, și a acțiunii așchietoare a prafului abraziv în suspensie. Oscilațiile mecanice trans-

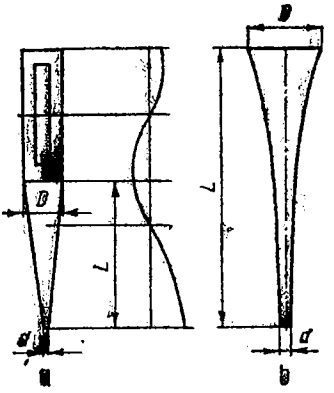


Fig. 11.43. Schema instalației de prelucrare cu ultrasunete.

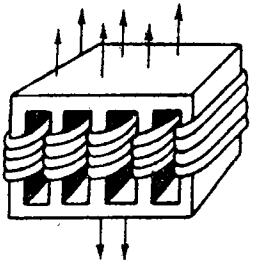


Fig. 11.44. Traductor pentru transformarea oscilațiilor electrice.

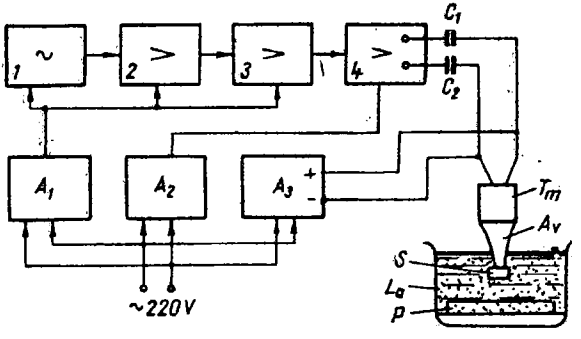


Fig. 11.45. Schema bloc a unui generator de frecvență ultrasonoră.

mise particulelor abrazive imprimă acestora o viteză mare, la care se adaugă presiunea hidraulică datorită fenomenului cavitației. Prin lovirea suprafeței prelucrate se desprind așchii foarte fine, care rămîn în lichidul de lucru. Fiind vorba de șocuri, se înțelege că prelucrarea va decurge cu atît mai bine cu cît materialul respectiv va fi mai puțin elastic. Astfel se explică prelucrarea mai rapidă a materialelor casante (sticlă, ceramică, diamant etc.). Materialul sculei este relativ ieftin, de duritate scăzută și deci nu se pun probleme deosebite la confecționarea ei. Scula se fixează la capătul amplificatorului de viteză, un rezonator mecanic de forma conică sau cu generatoarea exponențială (fig. 11.43). Pentru transformarea oscilațiilor electrice (18...30 kHz) se utilizează în prezent două tipuri de traductoare: piezoelectrice, în cazul puterilor reduse, și magnetostrictive, în cazul puterilor mai mari (fig. 11.44).

Schema electrică a mașinilor cu ultrasunete este relativ complicată. Partea cea mai importantă este generatorul de frecvență ridicată, care este realizat cu tuburi electronice sau mai nou cu semiconductoare.

În figura 11.45 se prezintă schema bloc a unui generator de frecvență ultrasonoră. Oscilatorul *1* de tip *RC* (mai rar *LC*) transmite oscilațiile unui amplificator de tensiune *2* și de aici unui inversor de fază *3*, care furnizează tensiunea de excitație necesară etajului de putere *4* în contratimp. În cazul generatoarelor cu etaj final asimetric blocul *3* lipsește. Etajele mai sus amintite sînt alimentate de la redresoarele *A1* (250...350 V), *A2* (1,5...6 kV) și *A3* (24 V). Condensatoarele *C1* și *C2* sînt prevăzute pentru separarea componentei continue de premagnetizare și componentei alternative de excitație.

12

MĂSURI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

12.1. ACCIDENTE PRODUSE DE CURENTUL ELECTRIC

În cazul în care instalațiile și echipamentele electrice nu sînt executate sau folosite în mod corespunzător se creează situații periculoase, care pot genera accidente de muncă, unele cu urmări deosebit de grave.

12.1.1. EFECTE ALE TRECERII CURENTULUI ELECTRIC PRIN CORPUL OMENESC

Prin electrocutare se înțelege accidentul provocat de trecerea curentului electric printr-un organism viu (STAS 8275-68), în cazul de față omul. Efectele produse de trecerea curentului electric prin organism duc, în anumite cazuri, la vătămarea sau chiar moartea accidentatului. Acest lucru este posibil în cazul în care omul atinge un element aflat sub tensiune periculoasă față de pămînt sau cînd atinge concomitent două elemente bune conducătoare de electricitate între care există o diferență de potențial. Valoarea tensiunii la care poate avea loc electrocutarea depinde de condițiile în care se produce atingerea corpurilor aflate sub tensiune. Această valoare a tensiunii nu este stabilită cu certitudine, ea depinzînd de foarte mulți factori. Astfel, se citează situații cînd, la tensiuni foarte înalte, accidentele nu au fost mortale, și, dimpotrivă, s-au semnalat accidente mortale la tensiuni considerate nepericuloase (sub 24 V). Acest lucru se explică prin faptul că pericolul depinde direct de valoarea intensității curentului electric care trece prin organul cel mai sensibil (inima) și nu de valoarea tensiunii. Ori, această intensitate, conform legii lui Ohm, depinde de rezistența electrică a corpului omenesc.

Acțiunea curentului electric se manifestă asupra corpului omenesc sub aspecte multiple, putînd provoca traumatisme externe și interne.

Traumatismele externe se produc ca urmare a efectului termic, mecanic, luminos, acustic sau chimic al curentului electric. Semnele electrice se datorează acțiunii mecanice și chimice a curentului. Ele sînt leziuni de formă circulară cu dimensiuni în funcție de suprafața și grosimea locului de contact. O altă formă de manifestare este metalizarea pielii care constă în impregnarea

ei cu particule fine de metal desprinse de arcul electric din metalul elementului aflat sub tensiune.

Traumatismele interne sînt şocuri electrice care, acţionînd asupra sistemului nervos, pot provoca paralizii ale cordului şi plămînilor. Pot duce, de asemenea, la electroliza sîngelui, fibrilaţia inimii etc.

12.1.2. FACTORI CARE INFLUENŢEAZĂ GRAVITATEA ACCIDENTULUI

Factorii, de natură electrică, de care depinde gravitatea accidentului produs de acţiunea curentului electric asupra organismului sînt: intensitatea curentului care parcurge corpul omenesc, durata acţiunii lui, frecvenţa acestuia, tensiunea (în mod implicit). Alţi factori sînt: traseul urmat de curentul electric prin corp şi caracteristicile individuale ale omului, presiunea şi suprafaţa de contact, temperatura mediului etc.

S-a stabilit experimental că influenţa hotărîtoare o are intensitatea curentului care parcurge organismul. Intensitatea, conform legii lui Ohm, este direct proporţională cu tensiunea la care s-a produs electrocutarea şi invers proporţională cu rezistenţa electrică a corpului omenesc. Rezistenţa totală cuprinde rezistenţa de contact a pielii, a ţesutului muscular, a aparatului circulator, a organelor interne şi a sistemului nervos. S-a constatat că rezistenţa electrică cea mai mare o are pielea în stare uscată ($1{,}6 \ldots 2 \cdot 10^6 \Omega/cm$). Pe de altă parte s-a ajuns la concluzia că intensitatea curentului depinde şi de frecvenţa acestuia, ceea ce demonstrează că rezistenţa corpului omenesc nu este pur activă ci şi reactivă. Astfel, pînă la circa 450 V, curentul de 50 Hz este mai periculos decît cel continuu. Pe măsura creşterii frecvenţei el devine tot mai puţin periculos decît curentul continuu, producînd şocuri electrice mai puţin intense.

Valorile maxime admise ale curentului electric ce străbate corpul omenesc un interval de timp mai mare de 3 secunde sînt de 50 mA c.c. şi 10 mA c.a. (STAS 2612-72). Pentru valori mai mari electrocutarea poate avea urmări foarte grave.

Rezistenţa electrică a corpului omenesc depinde în mare măsură de valoarea tensiunii. Ea scade cu creşterea acesteia pînă în momentul cînd se atinge tensiunea de străpungere, moment în care rezistenţa scade brusc şi se menţine în continuare constantă. Tensiunea la care se produce străpungerea este de circa 250 V.

Locul unde s-a produs atingerea, ca şi mărimea suprafeţei de contact, influenţează valoarea rezistenţei. Cu cît această suprafaţă este mai mare, cu atît rezistenţa este mai mică. Presiunea de contact, umiditatea, transpiraţia, praful, substanţele chimice duc la micşorarea rezistenţei electrice şi deci la pericol mărit de electrocutare,

Dacă pielea este uscată şi intactă, rezistenţa electrică totală a corpului omenesc este cuprinsă între 40 şi 100 kΩ. În alte cazuri însă rezistenţa totală poate scădea pînă la 600 Ω şi chiar sub această valoare. În tehnica securităţii

se consideră rezistența corpului omenesc de 1 kΩ în cazul protecției împotriva accidentelor prin atingere directă și de 3 kΩ în cazul protecției împotriva accidentelor prin atingere indirectă (STAS 2612-72).

Gravitatea accidentului depinde și de traseul urmat de curentul electric prin corp, deci de modul de închidere a circuitului prin om, deoarece influențează valoarea intensității curentului ce trece prin inimă. Se vor considera următoarele trasee:

— de la o mînă la cealaltă, curentul prin inimă reprezintă circa 3,3% din curentul ce trece prin organism;

— de la mîna stîngă la picioare, curentul prin inimă reprezintă circa 3,7%;

— de la mîna dreaptă la picioare, procentul este de circa 6,7%;

— de la un picior la celălalt, cazul cel mai puțin periculos, curentul prin inimă reprezintă circa 0,4% din curentul ce trece prin organism.

12.1.3. TENSIUNI DE PAS ȘI DE CONTACT. ATINGERI ACCIDENTALE

Stabilirea accidentală a unei legături electrice de scurtcircuit între un circuit electric (conducte sub tensiune) și pămînt, sau obiecte metalice legate la pămînt, constituie defect și se numește *punere accidentală la pămînt.* Curentul electric care trece spre pămînt prin locul defectului se numește *curent de punere accidentală la pămînt.* Acesta se împrăștie în sol în jurul punctului de intrare în pămînt (priză de pămînt). Din căderea de tensiune produsă la trecerea curentului electric de la electrod (priză de pămînt) la masa solului, circa 68% are loc în primul metru în jurul electrodului, 24% pe următorii 9 m și aproximativ 8% pe încă 10 m, astfel că pe circa 20 m distanță în jurul electrodului se obține practic repartizarea întregului potențial al prizei. Această porțiune de aproximativ 20 m în jurul electrodului formează zona de influență a prizei.

Diferența de potențial dintre două puncte de la suprafața solului din apropierea unei prize de pămînt străbătută de curent, puncte pe care omul se poate afla cu picioarele, se numește *tensiune de pas.* Distanța dintre cele două puncte se consideră egală cu lungimea medie a unui pas (0,8 m). Așadar tensiunea de pas este maximă cînd deplasarea omului se face în direcția prizei și a ajuns cu un picior pe electrodul de punere la pămînt.

Diferența de potențial dintre două puncte din circuitul curentului de punere accidentală la pămînt, puncte care pot fi atinse întîmplător de către om, se numește *tensiune de contact sau de atingere.*

Accidentele produse de curentul electric pot surveni fie ca urmare a atingerilor directe, fie ca urmare a atingerilor indirecte a părților aflate sub tensiune.

Atingerile directe au loc în cazul stabilirii contactului cu elemente aflate în următoarele situații:

— sub tensiune normală de lucru (una sau două faze ale rețelei de alimentare);

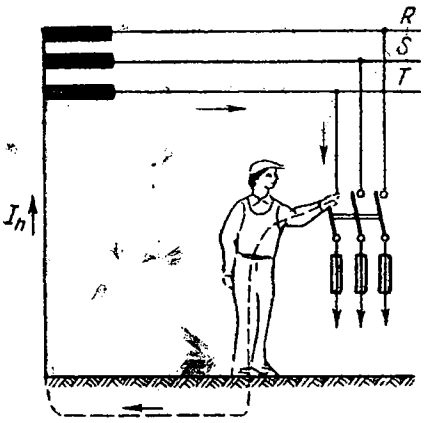


Fig. 12.1. Atingerea unui conductor cu nulul legat la pămînt.

— scoase de sub tensiunea normală de lucru, dar care au rămas încărcate cu sarcini electrice datorită capacității (baterii de condensatoare);

— scoase de sub tensiunea normală de lucru, însă aflate sub o tensiune indusă datorită unor influențe electromagnetice sau electrostatice.

În figura 12.1 se arată cazul atingerii unui conductor al rețelei electrice cu neutrul (nulul) legat la pămînt. În această situație

$$Ih = \frac{Uf}{Rh + Ro},$$

în care: Ih este curentul prin corpul uman, în A;

Uf — tensiunea rețelei (de fază), în V;

Rh — rezistența corpului omenesc, în Ω;

Ro — rezistența conductorului de pămîntare, în Ω.

Deci în cazul rețelei de 220 V c.a., neglijînd rezistența conductoarelor, se obține

$$Ih = \frac{220}{1\,000} = 0{,}22 \text{ A},$$

adică depășește valoarea de 10 mA, considerată limita curentului nepericulos.

Atingerile indirecte au loc în cazul stabilirii contactului cu elemente care în mod normal nu sînt sub tensiune, dar care au ajuns accidental (de exemplu, carcasa unui motor electric). Punerea accidentală sub tensiune a acestor elemente poate avea mai multe cauze și anume:

— deteriorări ale izolației (străpungeri);

— ruperea sau degradarea unor conductoare:

— descărcări electrice;

— conturnare;

— contacte electrice cu alte elemente aflate la rîndul lor accidental sub tensiune etc.

În figura 12.2 se exemplifică trei cazuri în care se poate produce electrocutarea ca urmare a nelegării la pămînt a carcaselor metalice. Dacă acestea sînt legate la nul (prin legarea la pămînt), curenții se vor închide prin această legătură, iar în cazul unei străpungeri a izolației se înlătură pericolul de

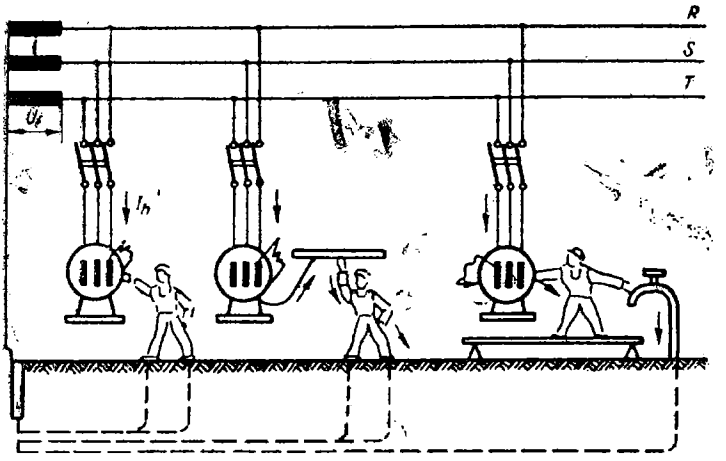


Fig. 12.2. Condiții de electrocutare prin contact indirect:

a — atingerea carcasei motorului; *b* — acționarea aparaturii de comandă; *c* — atingerea simultană a carcasei motorului electric și a unei instalații metalice legate la pămînt.

electrocutare a muncitorului (fig. 12.3) deoarece valoarea curentului derivație care trece prin corpul omenesc este infimă și deci nepericuloasă.

Intervenția la instalația electrică a mașinii-unelte în situația în care spațiul din jurul ei este ocupat cu mari cantități de șpan constituie un cadru favorabil pentru producerea electrocutării. Modul cum procedează muncitorul din figura 12.4, avînd în vedere condițiile în care acesta lucrează, reprezintă o abatere de la normele privind tehnica securității muncii.

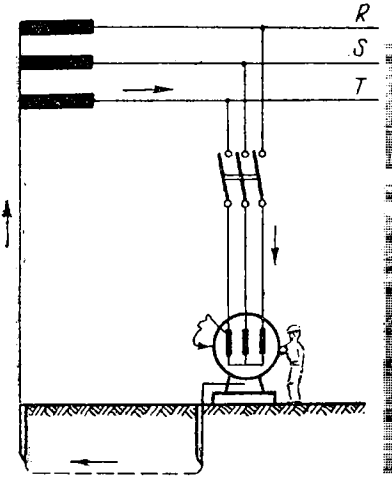


Fig. 12.3. Exemplu de legare la nul a instalației.

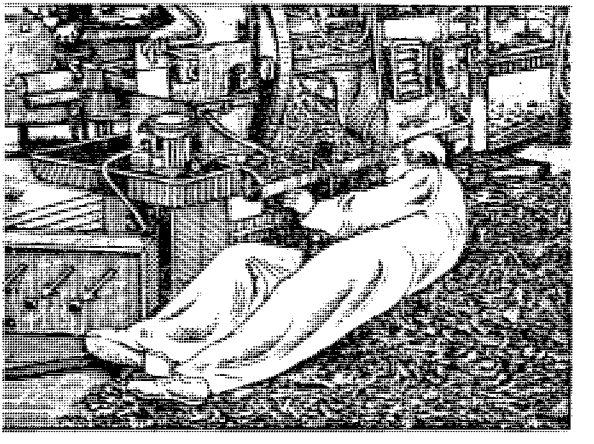


Fig. 12.4. Exemplu de nerespectare a normelor de protecție în intervenția la instalațiile electrice ale mașinii-unelte.

12.2. MĂSURI DE PROTECȚIE PENTRU EVITAREA ELECTROCUTĂRILOR

Pentru a se evita accidentele produse de acțiunea curentului electric asupra organismului se iau anumite măsuri de protecție.

Înlăturarea posibilității de atingere întîmplătoare a instalațiilor electrice aflate sub tensiune. În acest scop elementele instalațiilor electrice se plasează la înălțimi de siguranță, se izolează (îngrădesc) cu rețele metalice perforate legate la pămînt. În cazul tensiunilor mari se prevăd mijloace de deconectare automată în momentul pătrunderii în nișele respective.

Deconectarea de protecție. Deconectarea automată de protecție are rolul de a asigura deconectarea aparatului sau a motorului electric în momentul în care carcasa metalică a acestuia se găsește în mod accidental la o diferență de potențial față de nul sau față de pămînt. O astfel de protecție este redată în figura 12.5 Releul de tensiune *Rt*, în momentul în care prin înfășurarea lui va trece un curent, va elibera zăvorul *Z*. Acesta, fiind atras de resortul *R*, va deplasa contactele mobile ale întreruptorului și motorul *M* va fi deconectat de la rețea. Deoarece înfășurările sale nu mai sînt sub tensiune, nici releul *Rt* nu mai este alimentat și revine în poziția inițială, normală. De obicei înfășurarea releului este astfel calculată încît să asigure deconectarea la o tensiune mai mare de 42 V (diferența de potențial între carcasă și pămînt).

Prevenirea trecerii tensiunii înalte spre circuitele de joasă tensiune. Un asemenea fenomen poate să apară în transformatoarele de distribuție folosite pentru iluminarea mașinii-unelte sau în transformatoarele portabile de sudare. El se datorește fie atingerii înfășurărilor primare și secundare (în general la ieșirile acestora), fie străpungerii izolației dintre cele două înfășurări.

La apariția acestei defecțiuni omul poate fi supus unei tensiuni de contact periculoase. În scopul prevenirii accidentului se prevede un releu de deconectare în cazul în care tensiunea rețelei este pînă la 1 000 V și nulul legat la pămînt. Dacă nulul instalației nu este legat la pămînt se prevăd siguranțe.

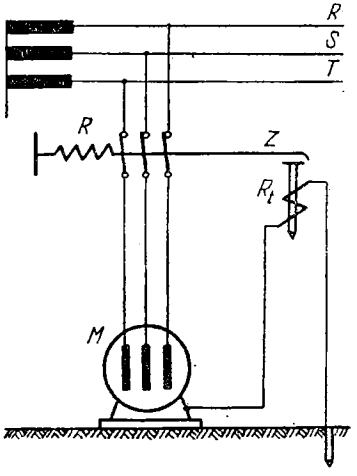


Fig. 12.5. Sistem de deconectare automată de protecție.

Folosirea tensiunilor reduse pentru alimentarea lămpilor și uneltelor portabile. Această măsură este obligatorie deoarece aparatele amintite sînt utilizate în locuri periculoase, în medii cu înaltă umiditate sau care micșorează rezistența corpului omenesc, fiind posibilă realizarea unui contact bun și pe o suprafață mare a aparatului electric respectiv. Un alt factor important este distrugerea izolației cordonului de legătură cu rețeaua de alimentare ca urmare a deplasărilor dese și a întinderilor lui. Alimentarea cu tensiune redusă este indicată și în cazul iluminării locului de așchiere a mașinilor-unelte și, în general, în cazul lămpilor de iluminat din ateliere și secții prelucrătoare, lămpi situate la înălțimi sub 2,5 m. Astfel, în locuri deosebit de periculoase, ten-

siunea maximă admisă este 12 V, în cele periculoase 24 V, iar în cazul utilajelor portabile cu izolație întărită se poate folosi tensiunea de 36 sau 42 V.

Tensiunile joase de siguranță se obțin utilizînd transformatoarele sau autotransformatoarele. Prima variantă este cea recomandată deoarece chiar în cazul distrugerii izolației conductoarelor care alimentează consumatorul (lampa) L, sau al unei străpungeri a acesteia, circuitul de alimentare (secundar) este separat de rețea (fig. 12.6, *a*). În cazul autotransformatoarelor (fig. 12.6, *b*) la o avarie de genul celor amintite mai sus, omul, fiind în contact cu aparatul de joasă tensiune, se găsește față de pămînt la o tensiune de 220 V, deci foarte periculoasă pentru el.

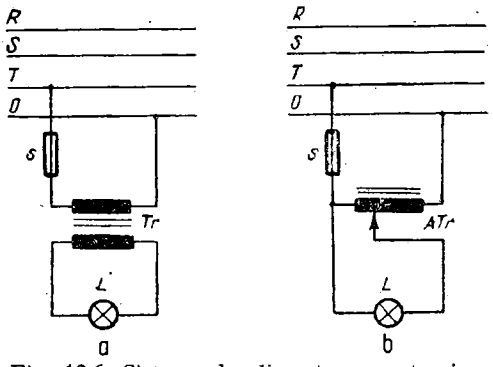


Fig. 12.6. Sisteme de alimentare cu tensiune joasă:
a — prin transformatoare; *b* — cu autotransformatoare.

Protecția prin legarea la pămînt sau la conductorul neutru. Părțile metalice ale utilajelor electrice, care în mod normal nu se găsesc sub tensiune, se leagă la conductorul neutru al rețelei (nulul de protecție) sau la pămînt în scopul evitării accidentelor ce se pot produce ca urmare a deteriorării izolației conductoarelor legate la rețea. Acest mod de protecție se aplică, în general, la instalații cu tensiunea de lucru pînă la 1 000 V.

Legarea de protecție se poate face în două moduri:

— la pămînt, în cazul instalațiilor fără conductor neutru legat la pămînt (pentru orice valoare a tensiunii);

— la conductorul neutru, în cazul cînd instalația electrică de distribuție nu este izolată de pămînt (pentru tensiuni sub 1 000 V).

Instalația de protecție prin legare la pămînt (STAS 6119-68 și STAS 4102-73) trebuie să se realizeze astfel încît tensiunea de contact să fie de maximum 40 V, adică rezistența circuitului de pămîntare să nu depășească 4Ω. Legarea la pămînt se face cu ajutorul conductoarelor cu secțiune cît mai mare (între părțile metalice ale utilajului și priza de pămînt). Priza de pămînt poate fi verticală, cînd rezistivitatea solului în adîncime (pînă la 4 m) este mică, și orizontală, cînd rezistivitatea solului este mai mică în stratul superficial. Rezistența circuitului de pămîntare trebuie verificată periodic (la o jumătate de an) deoarece rezistivitatea solului se modifică în timp.

Legarea la conductorul neutru (STAS 6616-69 și STAS 4102-73) se face cu conductor izolat. În acest fel se realizează o deconectare rapidă, ca urmare a tensiunilor apărute la suprafețele metalice ale diferitelor utilaje. Legarea la pămînt, atît a conductorului neutru cît și a carcaselor, trebuie să se facă în mai multe locuri, pentru a asigura protecția chiar în cazul în care conductorul de pămîntare se întrerupe într-un loc oarecare. Pe circuitul de pămîntare nu se admit siguranțe de protecție sau întreruptoare.

În rețelele sau instalațiile alimentate de la aceeași sursă nu se admite să se folosească la o parte din utilaje protecția prin legare la nul, iar la altele protecția prin legarea la prizele de pămînt care nu au legătură directă cu

nulul rețelei. Dacă unul din utilajele legate la pămînt ar suferi un defect de izolație, atunci conductorul de nul, și odată cu ele și carcasele utilajelor legate la nul, ar ajunge la un potențial față de pămînt care poate atinge valori inadmisibile.

După cum s-a arătat, utilajele portabile sînt alimentate, de obicei, la tensiuni foarte joase, pentru a asigura protecția lucrului. În unele cazuri însă, ca urmare a puterii mari de acționare, utilizarea unor tensiuni prea reduse nu este posibilă, motiv pentru care se admite alimentarea cu tensiunea de 220 V. În această situație carcasa metalică a utilajului se leagă la circuitul de pămîntare printr-un conductor special, inclus în cablul de alimentare. Acest al treilea conductor se leagă la armătura de pămîntare a fișei, care corespunde cu armătura de pămîntare a prizei. Construcția fișei și a prizei cu armătură de pămîntare trebuie astfel aleasă încît la introducerea fișei în priză să se stabilească mai întîi circuitul de pămîntare și apoi cel de lucru. Evident că, în paralel cu aceasta, este necesar ca să se proiecteze astfel construcția utilajului încît punctele aflate sub tensiune să fie foarte bine izolate de carcasa exterioară.

În cazul instalațiilor cu tensiuni de 65...150 V față de pămînt, aflate în încăperi care prezintă pericol de incendiu sau explozie, unde există un mediu care facilitează electrocutarea sau sînt la exterior, legarea la pămînt sau la conductorul neutru este obligatorie. În aceste cazuri toate părțile metalice care vin în contact cu mîna muncitorului sau se izolează, sau se leagă la pămînt. În cazul în care valoarea curentului de punere la pămînt este mare, rezistența circuitului de protecție nu trebuie să depășească 0,5 Ω în tot timpul anului. Pentru o dublă protecție în cazurile amintite se impune:

— folosirea îmbrăcămintei de protecție, cizme, mănuși, precum și a platformelor de protecție;

— micșorarea tensiunii de atingere și de pas prin folosirea centurilor de pămîntare;

— asigurarea deconectării de la rețea, în timp minim, a elementului defect.

Ca recomandări generale privind realizarea practică a circuitelor de pămîntare se enumeră următoarele:

● Fiecare element se leagă separat la centura de pămîntare comună. Nu se admite legarea în serie, deci folosirea unui singur circuit de pămîntare.

● Priza de pămînt se execută din piese de oțel de secțiune circulară sau poligonală, legătura cu aceasta realizîndu-se cu platbandă. Secțiunea conductoarelor se determină din condițiile de stabilitate termică a instalației respective. Rezistența unei prize de pămînt depinde de natura materialului circuitului de pămîntare, de secțiunea părților componente, de natura solului (rezistența specifică) și de adîncimea prizei.

● Ca prize de pămînt pot fi utilizate și instalațiile de apă curentă, construcțiile metalice ale clădirilor, în general construcțiile care au legătură cu pămîntul, dar numai în cazul în care curenții de deconectare nu sînt prea mari. Se interzice legarea la tuburile (conductele) pentru gaze naturale sau petrol.

● La dimensionarea instalațiilor de legare la pămînt trebuie să se țină seama de indicațiile prescripțiilor de exploatare tehnică a instalațiilor electrice.

● Borna de legătură a aparatului, mașinii electrice sau utilajului acționat electric cu conductorul de la priza de pămînt trebuie să fie marcată cu semnul convențional respectiv (⊥). Pentru ca să se poată realiza un contact bun este necesar ca atît suprafața fixă cît și suprafața piesei de legătură (cablu, papuc terminal) să fie foarte bine curățate și protejate împotriva coroziunii sau oxidării.

12.3. ELECTRICITATEA STATICĂ

Sarcinile electrice care apar la suprafața dielectricilor sau a conductoarelor izolate față de pămînt, ca urmare a frecărilor, se numesc *sarcini electrostatice.*

Deplasarea lor pe suprafețele dielectricilor este foarte greoaie și din această cauză, prin acumulare, pot să se producă descărcări periculoase (prin efectele lor). Descărcările pot provoca explozii sau incendii dacă mediul în care se produc este inflamabil sau format dintr-un amestec detonant (amestec de aer și substanțe inflamabile). Pentru a preveni descărcările acestor sarcini este necesară legarea la pămînt a conductelor prin care trece aer cu praf, a carcaselor mașinilor și utilajelor unde se poate produce praf.

La suprafața curelelor de transmisie, a benzilor transportoare, prin frecarea de roțile de ghidare, se nasc sarcini electrostatice care sînt cu atît mai multe cu cît cantitatea de praf din aer este mai mare. De aceea se prevăd pe suprafața lor perii colectoare de electricitate sau se umezesc cu glicerină care, prin higroscopicitatea ei, menține suprafețele respective umede.

Trebuie menționat, de asemenea, că la predarea unui utilaj în exploatare se va face un instructaj amănunțit în legătură cu eventualele posibilități de electrocutare, în baza normelor de tehnica securității muncii în instalațiile electrice.

12.4. ILUMINATUL MAȘINILOR-UNELTE

Muncitorul trebuie să execute, în timpul lucrului, o seamă de operații mai migăloase care impun o bună iluminare a locului de muncă, cum ar fi, de exemplu, reglarea precisă a sculei după gradații, măsurări cu instrumente universale de măsurat etc.

Experimental s-a stabilit că pentru astfel de operații este necesară o iluminare de peste 150 lx. În cazul în care muncitorul execută piese pretențioase din punctul de vedere al calității suprafeței, fluxul luminos trebuie să fie mai mare, astfel încît iluminarea să aibă valoarea de circa 300...500 lx. Evident că asemenea valori nu pot fi asigurate de sistemul de iluminare al atelierului și de aceea mașinile-unelte sînt înzestrate cu sisteme locale de iluminat. În acest scop se folosesc lămpi a căror poziție față de locul de așchiat poate fi reglată după dorință. Pentru a nu deranja și a nu obosi vederea

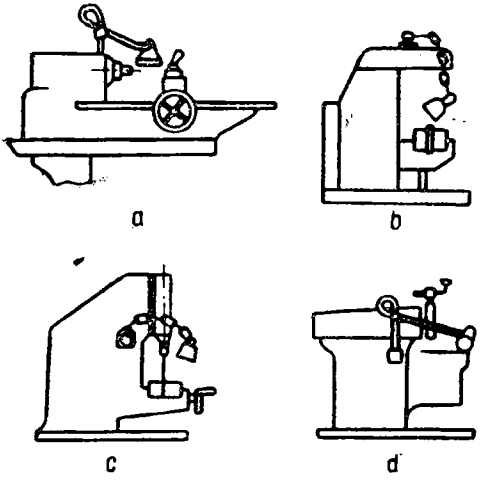


Fig. 12.7. Orientarea iluminatului locului de muncă:
a — la strunguri; *b* — la mașini de frezat; *c* — la mașini de găurit; *d* — la șeping.

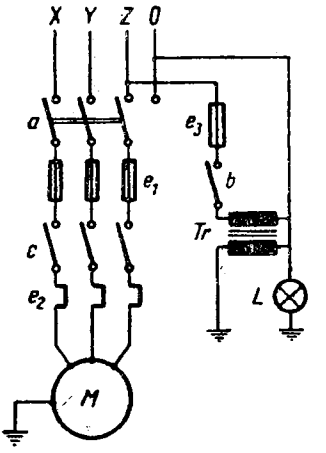


Fig. 12.8. Schema de alimentare a instalației de iluminat.

muncitorului este nevoie ca lumina să fie deviată cu reflectoare spre locul de muncă (fig. 12.7).

Drept surse de lumină se folosesc becuri de incandescență de maximum 25. . .40 W, la tensiuni pînă la 24. . .36 V. Această tensiune este impusă de normele de protecție a muncii. În acest caz alimentarea va trebui să se facă printr-un transformator coborîtor de tensiune. Legarea lui se poate face între două faze sau între fază și nul (fig. 12.8). Alimentarea directă de la rețea se admite numai în cazul tuburilor fluorescente, care însă se montează fix în diferite locuri ale mașinilor-unelte mari, strunguri carusel, mașini de rabotat mari etc.

BIBLIOGRAFIE

1. *Automatică. Management. Calculatoare.* Vol. 20 A, București, Editura tehnică, 1975.
2. Bejan, I. *Amplificatorul magnetic în sistemele automate.* București; Editura tehnică, 1972.
3. Boțan, N. V. *Alegerea motoarelor electrice pentru acționarea mecanismelor și mașinilor industriale.* București, Editura tehnică, 1972.
4. Boțan, N. V. *Cum se citesc schemele de acționări electrice.* București, Editura tehnică, 1971.
5. Boțan, N. V. *Comanda sistemelor de acționare electrică.* București, Editura tehnică, 1977.
6. Brașovan, M., Seracin, E. și Bogoevici, N. *Acționări electrice. Aplicații industriale.* București, Editura tehnică, 1977.
7. Cîmpeanu, A. *Mașini electrice.* Craiova, Editura Scrisul românesc, 1977.
8. Constantinescu Simon L. *Transformatoare electrice de mică putere.* București, Editura tehnică, 1974.
9. Crețu, M și Simion, A. *Mașini de frezat fabricate în R.P.R.* București, Editura tehnică 1964.
10. Dordea, T. *Mașini electrice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1970.
11. Fransua, Al., Nicolaide, A și Trifu Gh. *Mașini electrice uzuale. Exploatare și regimuri de funcționare.* București, Editura tehnică, 1973.
12. Fransua, Al. ș.a. *Mașini și sisteme de acționări electrice.* București, Editura tehnică, 1978.
13. Fransua, Al., Saal, C. și Topa, I. *Acționări electrice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1975.
14. Gheorghiu, I. S. *Mașini electrice.* Vol. I, București, Editura tehnică, 1966.
15. Gheghea Ion, Tabără, V., Dorin A și Pană C. *Instalațiile electrice și electronice ale mașinilor-unelte.* Institutul politehnic, București, 1977.
16. Liubcik, M. A. *Electromagneți de curent continuu și alternativ. Calcul și proiectare.* București, Editrra tehnică, 1963.
17. Manoliu, R. ș.a. *Mașini agregate și linii automate.* Bucuurești, Editura tehnică, 1965
18. Moldovan, C., Epure, M și Cirtu, D.N. *Comanda electronică a mașinilor-unelte.* București Editura, tehuică, 1965.
19. Moldovan, C., Epure, M. și Mehedinți, D. *Mașini-unelte de copiat.* București, Editura tehnică, 1962.
20. Moraru, A. *Amplidina-mașina electrică amplificatoare, de curent continuu, cu cîmp transversal.* București, Editura Academiei R. P. R. 1962.
21. Nicolaide, A. *Mașini electrice. Proiectare.* Vol. I și II, Craiova, Editura Scrisul românesc, 1975.

22. Obaciu, Gh. și Boeriu S. *Acționarea electrică a mașinilor-unelte.* Brașov Universitatea Brașov, 1978.
23 Obaciu, Gh. și Boeriu S. *Acționarea electrică a mașinilor-unelte.* Îndrumar de lucrări practice, Brașov, 1978.
24. Pelegrin, M., Gille, J. B. și Decoulne, P. *Elementele sistemelor de reglare automată.* București, Editura tehnică, 1063.
25. Richter, H. *Mașini electrice.* Vol. IV și V, București, Editura tehnică, 1960—1961.
26. Richter, H. *Elektrische Antriebstechnick.* Stuttgart, Spring Verlag, 1971.
27. Richter, H. *Praktische Elektronik für jeden Beruf.* Stuttgart, Franksche Verlaghandlung, 1967.
28. Rudakov, V. V. *Mașini electrice amplificatoare în sistemele automate.* București, Editura tehnică, 1963.
29. Saal, C și Topa, I. *Acționări electromecanice. Comanda automată. Acționări reglabile.* Brașov, Universitatea, 1971.
30. Simulescu, D. și Huhulescu, M. *Aparate electrice de joasă tensiune.* București, Editura tehnică, 1962.
31. Soznov, V. G. *Ionnîi elektroprivod.* Moskva-Leningrad, Izdatelstvo Energhiia, 1965.
32. Sufrim, M. *Protecția împotriva tensiunilor accidentale.* București Editura tehnică, 1967.
33. Tabără V., Sandu I. Gh., Iacobescu, I. și Dan Cosmin. *Acționarea electrică a mașinilor-unelte.* București Editura tehnică, 1968.
34. Tabără, V. *Contribuții la calculul puterii motoarelor electrice folosite la acționarea preselor mecanice cu excentric.* În: Construcția de mașini, nr. 4, 1972.
35. Tabără, V. *Considerații asupra alegerii soluțiilor pentru reglarea electromecanică în trepte a turațiilor la mașinile-unelte acționate cu motoare de curent continuu.* În: Construcția de mașini, nr. 2, 1974.
36. Tabără, V. *Condiții de realizare a unor trepte de reglare continuă a turațiilor la mașinile-unelte.* Buletinul I.P.B. nr. 3, 1977.
37. Vojtech, A. A., Kiricek, G. M. și Lir, E. V. *Asinhronnie elektrodvgateli s reguli-rovaniem skorosti.* Kiev, 1973.
38. Vojtech, A.A. *Electricka zarizeni obrabecih stroju.* Praha Technické Literatury, 1968.
39. Zamfir, Gh. *Mașini de găurit fabricat în R.P.R.,* București, Editura tehnică, 1964.
40. Zulsdorf, W. *Kleines Handbuch der Steuerungstechnik Verlag Technik* Berlin 1963.
41. * * * *Normativ privind proiectarea și executarea instalațiilor electrice, la consumator, cu tensiuni pînă la 1 000 V.* Indicativ I.7—74.
* * * *Colecția de standarde referitoare la energie și acționări electrice.*

Plan editură Nr. 5948. Coli de tipar 19.
Bun de tipar septembrie 1980.

Tiparul executat sub comanda nr. 1195 la
Intreprinderea poligrafică „13 Decembrie 1918", str. Grigore Alexandrescu nr. 89—97 București,
Republica Socialistă România